



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS
DOCTORADO EN SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ARGININA, CITRULINA Y NITRATO EN EL RENDIMIENTO DEL TRIATLÓN

Tesis Doctoral
Universidad de León (ULe)



Jose Burgos Balmaseda

Tutor: Dr. Jesús Ángel Seco

Director: Dr. Juan Francisco Mielgo-Ayuso

León, 2022



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS
DOCTORADO EN SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ARGININA, CITRULINA Y NITRATO EN EL RENDIMIENTO DEL TRIATLÓN

Tesis doctoral

Jose Burgos Balmaseda

Tutor: Dr. Jesús Ángel Seco

Director: Dr. Juan Francisco Mielgo-Ayuso

León, 2022



**AUTORIZACIÓN DEL TUTOR DE TESIS
PARA SU PRESENTACIÓN**

Nombre y apellidos del tutor: Jesús Ángel Seco

NIF: 07865930-E

Título de la tesis: EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ARGININA, CITRULINA Y NITRATO EN EL RENDIMIENTO DEL TRIATLÓN

Programa de doctorado: Salud, Discapacidad, Dependencia y Bienestar

Nombre y apellidos del doctorando: Jose Burgos Balmaseda

Visto el INFORME DE SIMILITUD obtenido de la herramienta que a tal efecto pone a disposición la universidad, autorizo la presentación de la tesis doctoral arriba indicada, dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lugar y fecha:



**AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE
TESIS PARA SU PRESENTACIÓN**

Nombre y apellidos del director: Juan Francisco Mielgo-Ayuso

NIF: 44134162-Z

Título de la tesis: EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ARGININA, CITRULINA Y NITRATO EN EL RENDIMIENTO DEL TRIATLÓN

Programa de doctorado: Salud, Discapacidad, Dependencia y Bienestar

Nombre y apellidos del doctorando: Jose Burgos Balmaseda

Visto el INFORME DE SIMILITUD obtenido de la herramienta que a tal efecto pone a disposición la universidad, autorizo la presentación de la tesis doctoral arriba indicada, dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lugar y fecha:



AUTORIZACIÓN DEL DEPARTAMENTO

El Consejo del Departamento de Ciencias Biomédicas en reunión celebrada el día ____ de _____ de 2022 ha acordado dar la conformidad a la admisión a trámite de presentación de la Tesis Doctoral titulada: EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ARGININA, CITRULINA Y NITRATO EN EL RENDIMIENTO DEL TRIATLÓN dirigida por el Dr. Jesús Ángel Seco y el Dr. Juan Francisco Mielgo-Ayuso y presentada por Don Jose Burgos Balmaseda ante este Departamento.

En _____, a _____ de _____ de 2022

VºBº DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO

SECRETARIO DEL DEPARTAMENTO

Fdo.: _____

Fdo.: _____



AUTORIZACIÓN DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA DE DOCTORADO

La Comisión Académica del Programa de Doctorado en Salud, Discapacidad, Dependencia y Bienestar en reunión celebrada el día _____ de _____ de 2022, ha acordado dar la conformidad a la presentación de la Tesis Doctoral titulada: EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ARGININA, CITRULINA Y NITRATO EN RENDIMIENTO DEL TRIATLÓN, dirigida por el Dr. Juan Francisco Mielgo-Ayuso y el Dr. Jesús Ángel Seco y presentada por Don Jose Burgos Balmaseda.

En _____, a _____ de _____ de 2022

EL RESPONSABLE DEL PROGRAMA DE DOCTORADO

Fdo.: _____



ACTA DE GRADO DE DOCTOR O DOCTORA
ACTA DE DEFENSA DE TESIS DOCTORAL

DOCTORANDO: Don Jose Burgos Balmaseda

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ARGININA, CITRULINA Y NITRATO EN EL RENDIMIENTO DEL TRIATLÓN

El Tribunal designado por la Comisión de la ULe para calificar la Tesis Doctoral arriba indicada y reunido en el día de la fecha, una vez efectuada la defensa por el doctorando y contestadas las objeciones y/o sugerencias que se le han formulado, ha otorgado por _____ (unanimitad o mayoría) la calificación de:

SOBRESALIENTE / NOTABLE / APROBADO / NO APTO

Idioma de defensa (en caso de más de un idioma, especificar porcentaje defendido en cada idioma): Castellano

En _____, a _____ de _____ de 2022

EL PRESIDENTE,

EL SECRETARIO,

Fdo.:

Dr: _____

Fdo.:

Dr: _____

VOCAL 1º,

VOCAL 2º,

VOCAL 3º,

Fdo.:

Dr: _____

Fdo.:

Dr: _____

Fdo.:

Dr: _____

EL DOCTORANDO,

Fdo.: _____

Índice

CONFLICTOS DE INTERÉS	1
AGRADECIMIENTOS	3
LISTA DE PUBLICACIONES	5
ABREVIATURAS	7
LISTA DE TABLAS	11
LISTA DE FIGURAS	13
RESUMEN	15
ABSTRACT	17
Resumen Artículo 1	19
Resumen Artículo 2	20
Resumen Artículo 3	21
PRÓLOGO	23
1. INTRODUCCIÓN	25
1.1. TRIATLÓN	27
1.2. DIFERENTES DISTANCIAS DEL TRIATLÓN	29
1.3. PLANIFICACIÓN DIETÉTICA	37
1.4. PLANIFICACIÓN DEL ENTRENAMIENTO	41
1.5. RENDIMIENTO DEPORTIVO	45
1.6. FATIGA	49
1.7. RECUPERACIÓN	53
1.8. AYUDAS ERGOGÉNICAS	57
1.9. COMBINACIÓN DE CITRULINA Y NITRATO	69
1.10. INTRODUCCIÓN ARTÍCULO 1	71
1.11. INTRODUCCIÓN ARTÍCULO 2	75
1.12. INTRODUCCIÓN ARTÍCULO 3	79
2. OBJETIVOS	83
2.1. MATERIAL Y MÉTODOS ARTÍCULO 1	87
2.1.1. Estrategia de búsqueda de la literatura	87
2.1.2. Criterios de inclusión y exclusión	87
2.1.3. Selección de estudios.....	88
2.1.4. Medidas de resultado	88
2.1.5. Sesgo de publicación.....	89
2.1.6. Evaluación de la calidad de los experimentos.....	89

2.1.7. Análisis estadístico	91
2.2. MATERIAL Y MÉTODOS ARTÍCULO 2	93
2.2.1. Participantes	93
2.2.2. Protocolo experimental y plan de evaluación.....	94
2.2.3. Pruebas de evaluación del rendimiento	94
2.2.4. Antropometría	96
2.2.5. Análisis estadístico	96
2.3. MATERIAL Y MÉTODOS ARTÍCULO 3	97
2.3.1. Participantes	97
2.3.2. Protocolo experimental y plan de evaluación.....	98
2.3.3. Análisis de sangre.....	99
2.3.4. Test de Cooper	100
2.3.5. Antropometría	100
2.3.6. Evaluación de la dieta	100
2.3.7. Análisis estadístico	101
3. RESULTADOS.....	103
3.1. RESULTADOS ARTÍCULO 1	107
3.1.1. Búsqueda principal	107
3.1.2. Suplementación con arginina	108
3.2. RESULTADOS ARTÍCULO 2	117
3.3. RESULTADOS ARTÍCULO 3	121
4. DISCUSIÓN.....	127
4.1. DISCUSIÓN ARTÍCULO 1.....	129
4.1.1. Efecto sobre el rendimiento anaeróbico ($>VO_{2máx}$).....	130
4.1.2. Efecto sobre el rendimiento aeróbico ($\leq VO_{2máx}$)	132
4.1.3. Fortalezas, limitaciones y futuras líneas de investigación	133
4.2. DISCUSIÓN ARTÍCULO 2	135
4.2.1. Limitaciones, puntos fuertes y futuras investigaciones	138
4.2.2. Aplicaciones prácticas	139
4.3. DISCUSIÓN ARTÍCULO 3	141
4.3.1. Limitaciones, puntos fuertes y futuras investigaciones	144
4.3.2. Aplicación práctica	145
5. CONCLUSIONES.....	147
5.1. CONCLUSIONES ARTÍCULO 1	149
5.2. CONCLUSIONES ARTÍCULO 2	151
5.3. CONCLUSIONES ARTÍCULO 3.....	153
5. REFERENCIAS	155
7. APÉNDICES.....	173
7.1. APÉNDICE 1. CUESTIONARIOS	175
7.1.1. Presentación	175
7.1.2. Datos sociodemográficos.....	176

7.1.3. Datos deportivos.....	177
7.1.4. Antecedentes familiares	177
7.1.5. Antecedentes personales.....	178
7.1.6. Historia ponderal	179
7.1.7. Datos dietéticos	180
7.1.8. Hábitos de hidratación.....	181
7.1.9. Cuestionario de salud general De Goldberg – GHQ28-.....	183
7.1.10. SCAT (Sport Competition Anxiety Test)	185
7.1.11. STAI (State Trait Anxiety Inventory).....	186
7.1.12. Cuestionario de Oviedo del sueño	187
7.1.13. Valoración de adherencia a la dieta mediterránea.....	190
7.1.14. Cuestionario de frecuencias.....	191
7.1.15. Registro semanal de comidas	199
7.2. APÉNDICE 2. INFORME FAVORABLE DEL COMITÉ DE ÉTICA	201
7.3. APÉNDICE 3. CONSENTIMIENTO INFORMADO	203
7.7. APÉNDICE 7. COMUNICACIONES CIENTÍFICAS PRESENTADAS DURANTE EL PROCESO DE TESIS	205
7.8. APÉNDICE 8. ESTANCIAS DURANTE EL PROCESO DE TESIS	207
7.9. APÉNDICE 9. OTRAS PUBLICACIONES DURANTE EL PROCESO DE TESIS	209
7.10. APÉNDICE 10. ACERCA DEL AUTOR. CURRICULUM VITAE.	223

CONFLICTOS DE INTERÉS

El autor declara que no tiene ningún conflicto de interés. No se ha recibido ningún tipo de dotación económica y tampoco está directa o indirectamente relacionada con la suplementación utilizada durante la realización de la tesis.

El autor declara que la presente tesis doctoral es un trabajo original.

Esta tesis doctoral siguió los procedimientos establecidos en la Declaración de Helsinki y fue aprobada por el Comité de Ética de la Universidad de León, España (Ver Apéndice 2).

AGRADECIMIENTOS

Después de este largo camino, soy consciente de todas las personas que me han ayudado de una u otra forma a poder concluir este sueño. Es por ello por lo que me gustaría dedicarles unas líneas:

A mi director de tesis Juan Mielgo-Ayuso y a mi tutor Jesús Ángel Seco, que han sido las personas que más me han ayudado para poder concluir esta etapa. Hacer hincapié en la cercanía de ambos, ayudándome a sacar adelante tanto el proyecto de investigación como las publicaciones científicas.

Al Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad de León, ya que sin conocerme me permitieron acceder a su fantástico doctorado.

A los co-autores de los artículos publicados durante el proceso de tesis, por la ayuda prestada colaborando en las publicaciones, para que los artículos se hayan podido llevar a cabo de la mejor forma posible.

Agradecer a los diferentes clubs de triatlón participantes toda la colaboración prestada durante el estudio. Tanto al staff como a cada triatleta, por poner todo lo que estaba en su mano y cumplir todas las instrucciones dadas que han hecho posible la realización de este proyecto.

A mi padre, mis sobrinos y mi pareja, por su apoyo continuo y por haber confiado en mi capacidad para superar los obstáculos que se me han presentado durante esta difícil etapa.

A mis amigos que siempre han estado presentes en los momentos más complicados de este proceso.

A las personas que, aunque no aparecen aquí con nombres y apellidos, han estado presentes de alguna forma en el recorrido del desarrollo de esta tesis doctoral.

LISTA DE PUBLICACIONES

Artículo 1:

Aitor Viribay, José Burgos, Julen Fernández-Landa, Jesús Seco-Calvo and Juan Francisco Mielgo-Ayuso.

Effect of Arginine Supplementation on Athletic Performance Based on Energy Metabolism: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2020. May 2;12(5). pii: E1300. doi: 10.3390/nu12051300

Factor de Impacto: 5,719 (2020)

Posición área de Nutrición y dietética: 17/88 (Q1)

Artículo 2:

José Burgos, Aitor Viribay, Diego Fernández-Lázaro, Julio Calleja-González, Josefa González-Santos and Juan Francisco Mielgo-Ayuso.

Combined Effects of Citrulline Plus Nitrate-Rich Beetroot Extract Co-Supplementation on Maximal and Endurance-Strength and Aerobic Power in Trained Male Triathletes: A Randomized Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Nutrients*. 2022 Dec, 14(1). pii: E40. doi: 10.3390/nu14010040

Factor de impacto: 5,719 (2022)

Posición área de Nutrición y Dietética: 17/88 (Q1)

Artículo 3:

José Burgos, Aitor Viribay, Julio Calleja-González, Diego Fernández-Lázaro, Jurgi Olasagasti-Ibargoién, Jesús Seco-Calvo and Juan Francisco Mielgo-Ayuso.

Long-Term Combined Effects of Citrulline and Nitrate-Rich Beetroot Extract Supplementation on Recovery Status in Trained Male Triathletes: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Biology* 2022, 11(1), 75; <https://doi.org/10.3390/biology11010075>

Factor de impacto: 5,079 (2022)

Posición área de biología: 16/93 (Q1)

ABREVIATURAS

1-MAT: test de abdominales en un minuto

ACTH: hormona adrenocorticotrópica

ADP/ATP: ratio de adenosín difosfato/adenosín trifosfato

ANOVA: análisis de la varianza

ARG: L-arginina

AL: ácido láctico

ALT: fosfatasa alcalina

ASL: argininosuccinato liasa

AST: aspartato aminotransferasa

AS: argininosuccinato

ASS: argininosuccinato sintetasa

ATP: adenosín trifosfato

BCAA: aminoácidos ramificados

BJ: zumo de remolacha

BR: extracto de remolacha rico en nitratos

BRG: grupo extracto de remolacha rico en nitratos

Ca²⁺: calcio

CHO: carbohidratos

CI: intervalo de confianza

CIT: L-citrulina

CIT-BRG: grupo citrulina más extracto de remolacha rico en nitratos

CIT-NO: ciclo citrulina-óxido nítrico

CITG: grupo citrulina

CK-MM: enzima citosólica

CK: creatina quinasa

CON: grupo control

CP: test de Cooper

CPS-I: carbamoilfosfato sintetasa I

CrM: monohidrato de creatina

CV: coeficiente de variación

DHA: ácido docosaheptaenoico

DME: diferencias medias estandarizadas

DMS: magnitud de la DME
DYN: test de dinamometría de agarre de la mano/dinamómetro de agarre de mano
EIMD: daño muscular inducido por el ejercicio
eNOS: NOS endotelial
FFQ: cuestionario de frecuencia alimentaria
FETRI: Federación Española de Triatlón
GGT: enzima gamma glutamil transpeptidasa
GH: hormona del crecimiento
HJUMP: test de salto horizontal
HMB: β -hidroxi β -metilbutirato
HVLIT: porcentaje significativo de baja intensidad y alto volumen
IGF-1: factor de crecimiento insulínico tipo 1
IMC: índice de masa corporal
iNOS: NOS expresado de forma inducible
ISAK: Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría
IU/L: unidades internacionales por litro
LD: larga distancia
LDH: lactato deshidrogenasa
MAPK: proteína quinasa activada por mitógeno
MD: media distancia
MG: masa grasa
MM: masa muscular
MPS: síntesis de proteína muscular
mTOR: diana de rapamicina en células de mamífero
NAG: N-acetilglutamato
NAGS: N-acetilglutamato sintasa
NO: óxido nítrico
NO₃⁻: nitratos
NO₂⁻: nitrito
NOS: óxido nítrico sintasa
nNOS: NOS neuronal
n²p: eta cuadrado parcial
OAT: ornitina aminotransferasa
OCT: ornitina carbamoil transferasa

OTS: alteración del estado de ánimo del atleta

OxMaR: Oxford Minimization and Randomization

O₂: oxígeno

PCr: fosfocreatina

PICOS: estructura PICO y añade la letra S de diseño de estudio

PL: placebo

PLG: grupo placebo

PRISMA: Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis

PI3K: fosfoinositida 3-quinasa

PUFA: ácidos grasos poliinsaturados

REVMAN: gerente de revisión

RSAT: Test de Capacidad de Sprint Repetido

RM: repetición máxima

SEE: síndrome de sobreentrenamiento

T/C: ratio testosterona cortisol

TID: distribución de la carga de entrenamiento

TT: prueba contrarreloj de 1 km

VO₂: consumo de oxígeno

VO₂máx: consumo máximo de oxígeno

VT: umbral ventilatorio

WOS: servicio en línea de información científica

YO-YO 1R1: prueba de recuperación intermitente

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de triatlón de acuerdo con la distancia recorrida.....	29
Tabla 2. Modalidades del triatlón	31
Tabla 3. Calendario Federación Español de Triatlón 2021	32-36
Tabla 4. Síntomas del síndrome de sobreesfuerzo	53
Tabla 5. Tipo, intensidad y duración del programa de entrenamiento semanal	97
Tabla 6. Edad y altura de los participantes al inicio del estudio	98
Tabla 7. Características de los participantes y de la intervención de los estudios incluidos en la revisión sistemática y el metaanálisis.....	109
Tabla 8. Resumen de los estudios incluidos en la revisión sistemática que investigaron el efecto de la arginina en el rendimiento $>VO_{2máx}$ (prueba de menos de 5 min)	111
Tabla 9. Resumen de los estudios incluidos en la revisión sistemática que investigaron el efecto de la arginina en el rendimiento $<VO_{2máx}$ (prueba de 5 min o más)	113
Tabla 10. Composición corporal y datos del somatotipo en los cuatro grupos del estudio al inicio (T1) y después de 9 semanas de suplementación (T2)	117
Tabla 11. Fuerza máxima, resistencia-fuerza y potencia aeróbica en los cuatro grupos del estudio al inicio (T1) y después de 9 semanas (T2)	118
Tabla 12. Ingesta de energía y macronutrientes de los triatletas durante 9 semanas de estudio.....	121
Tabla 13. Resultados de antropometría y composición corporal de los triatletas	121
Tabla 14. Marcadores séricos del daño muscular inducido por el ejercicio de los triatletas en T1 y T2 (después de 9 semanas)	123
Tabla 15. Estado de la testosterona y el cortisol y relación testosterona/cortisol de los triatletas en T1 y T2 (después de 9 semanas)	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principales metabolitos de la arginina en mamíferos	58
Figura 2. Mecanismo de vasodilatación de la arginina	59
Figura 3. Descripción general del metabolismo de la arginina en humanos	60
Figura 4. Representación del metabolismo de la citrulina	62
Figura 5. Representación esquemática del ciclo del óxido nítrico	63
Figura 6. Metabolismo interorgánico de arginina-ornitina-citrulina	64
Figura 7. Conversión de nitratos en zumo de remolacha a óxido nítrico	66
Figura 8. Vía de producción de óxido nítrico	67
Figura 9. Gráfico de embudo del error estándar de los datos de rendimiento anaeróbico (a) y aeróbico; (b) por la g de Hedges	89
Figura 10. Resumen del riesgo de sesgo: juicios de los autores sobre cada elemento de riesgo de sesgo para todos los estudios incluidos	90
Figura 11. Gráfico de riesgo de sesgo: juicios de los autores sobre cada elemento de riesgo de sesgo presentado como porcentajes en todos los estudios incluidos	90
Figura 12. Diagrama de flujo de los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA)	107
Figura 13. Diagrama de bosque que compara los efectos de la suplementación con arginina en el rendimiento anaeróbico ($>VO_{2máx}$)	114
Figura 14. Diagrama de bosque que compara los efectos de la suplementación con arginina sobre el rendimiento aeróbico ($\leq VO_{2máx}$)	115
Figura 15. Cambios porcentuales durante el estudio en la fuerza máxima, la fuerza de resistencia y la potencia aeróbica en los triatletas	119
Figura 16. Distancia recorrida en el test de Cooper por los triatletas en T1 y T2 (tras 9 semanas de suplementación)	122
Figura 17. Cambios porcentuales durante el estudio en la distancia estimada recorrida en el test de Cooper en los grupos	125
Figura 18. Cambios porcentuales durante el estudio en el estado hormonal del cortisol y la testosterona y la relación testosterona/cortisol en los triatletas	125

RESUMEN

Los suplementos nutricionales incluidos en el grupo de vasodilatadores o precursores del óxido nítrico (NO), como la arginina (ARG), la citrulina (CIT) y el extracto de remolacha rico en nitratos (BR) son suplementos deportivos ampliamente estudiados. Sin embargo, en el caso concreto de la ARG, no queda clara su la eficacia en el rendimiento aeróbico ($VO_{2m\acute{a}x}$) y anaeróbico ($>VO_{2m\acute{a}x}$). Asimismo, no está claro cómo actúan la CIT y el BR cuando se utilizan conjuntamente en el rendimiento deportivo y la recuperación muscular en un deporte como el triatlón, el cual se compone de tres modalidades deportivas (natación, ciclismo y carrera) que se realizan de forma continua sin interrupción.

Los objetivos de esta tesis han sido:

1) Determinar mediante una revisión sistemática con metaanálisis la eficacia de una ayuda ergogénica relacionada con el NO como es la ARG en el rendimiento aeróbico ($VO_{2m\acute{a}x}$) y anaeróbico ($>VO_{2m\acute{a}x}$). Asimismo, mostrar la dosis efectiva y el momento de administración.

2) Determinar el efecto de 9 semanas de suplementación de CIT más BR sobre el rendimiento de fuerza-resistencia máxima y la potencia aeróbica en triatletas masculinos.

3) Evaluar el efecto de la mezcla a largo plazo (9 semanas) de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de nitratos (NO_3^-)) en la recuperación por la distancia recorrida en el test de Cooper (CP), los marcadores de daño muscular inducido por el ejercicio (EIMD) (urea, creatinina, AST, ALT, GGT, LDH y CK) y las hormonas anabólicas/catabólicas (testosterona, cortisol y la relación testosterona/cortisol (T/C)) en triatletas masculinos entrenados.

En base a los objetivos planteados, los principales resultados de la tesis indican que:

1) La revisión sistemática y el metaanálisis han mostrado que la suplementación con ARG podría tener efectos positivos en los resultados de las pruebas físicas relacionadas con el rendimiento anaeróbico y aeróbico. La dosis efectiva de ARG en protocolos agudos debería ajustarse a 0,15 g/kg (10-11 g) ingeridos entre 60-90 min antes del ejercicio para mejorar en las disciplinas aeróbicas y anaeróbicas. Por otro lado, la suplementación crónica de ARG de 1,5-2 g/día durante 4-7 o dosis más largas (10-12 g/día durante 8 semanas) presentó un impacto positivo en el rendimiento aeróbico y anaeróbico, respectivamente.

2) La suplementación combinada de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) durante 9 semanas podría mejorar la fuerza máxima y la fuerza de resistencia. Además, esta posible combinación promueve un aumento del rendimiento (en pruebas de potencia aeróbica) con respecto a la suplementación con CIT o BR por separado.

3) La combinación de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) durante 9 semanas no presentó ningún beneficio para el EIMD, pero evitó un aumento del cortisol y un descenso del T/C en comparación con el placebo (PL) o la suplementación aislada. Además, esta combinación promovió una mejor distancia recorrida en el CP tras 9 semanas de suplementación. Por lo tanto, el uso combinado de 3 g/día de CIT y BR (300 mg/día de NO_3^-) podría promover un estado de recuperación muscular más rápido, pero sin prevenir el EIMD.

Las conclusiones obtenidas en la presente tesis doctoral indican que la combinación de estos dos suplementos puede ser de gran ayuda para los profesionales que trabajan con el deportista para mejorar el rendimiento aeróbico y la recuperación.

Palabras clave: aminoácidos; ayudas ergogénicas; rendimiento físico; óxido nítrico; aeróbico; anaeróbico; citrulina; nitrato; rendimiento deportivo; remolacha; recuperación; triatlón; rendimiento; ayudas ergogénicas; fatiga muscular; recuperación; hormonas.

ABSTRACT

Nutritional supplements included in the group of vasodilators or nitric oxide (Nitric Oxide from its acronym in English) precursors, such as arginine (ARG), citrulline (CIT) and nitrate-rich beetroot extract (BR) are widely studied sports supplements. However, in the specific case of ARG, its efficacy on aerobic (VO_{2max}) and anaerobic ($>VO_{2max}$) performance is unclear. Likewise, it is not clear how CIT and BR act when used together in sports performance and muscle recovery in a sport such as triathlon, which is made up of three sports modalities (swimming, cycling, and running) that are performed continuously without interruption.

The objectives of this thesis were:

To determine by means of a systematic review with meta-analysis the efficacy of an ergogenic aid related to nitric oxide such as ARG on aerobic (VO_{2max}) and anaerobic ($>VO_{2max}$) performance. Also, to show the effective dose and time of administration.

2) To determine the effect of 9 weeks of CIT plus BR supplementation on maximal strength-endurance performance and aerobic power in male triathletes.

3) To evaluate the effect of the long-term (9 weeks) mixture of 3g/day of CIT plus 2.1 g/day of BR (300 mg/day of nitrates (NO_3^-)) on Cooper test distance recovery, markers of exercise-induced muscle damage (EIMD) (urea, creatinine, AST, ALT, GGT, LDH and CK) and anabolic/catabolic hormones (testosterone, cortisol and testosterone/cortisol (T/C) ratio) in trained male triathletes.

Based on the stated objectives, the main results of the thesis indicate that:

1) Systematic review and meta-analysis have shown that ARG supplementation could have positive effects on physical test results related to anaerobic and aerobic performance. The effective dose of ARG in acute protocols should be adjusted to 0.15 g/kg (10-11 g) ingested between 60-90 min before exercise to improve aerobic and anaerobic disciplines. On the other hand, chronic ARG supplementation of 1.5-2 g/day for 4-7 or longer doses (10-12 g/day for 8 weeks) had a positive impact on aerobic and anaerobic performance, respectively.

2) Combined supplementation of 3 g/day of CIT plus 2.1 g/day of BR (300 mg/day of NO_3^-) for 9 weeks could improve maximal strength and endurance strength. In addition, this possible combination promotes an increase in performance (in aerobic power tests) over supplementation with either CIT or BR separately.

3) The combination of 3 g/day CIT plus 2.1 g/day BR (300 mg/day of NO_3^-) for 9 weeks had no benefit for EIMD but prevented an increase in cortisol and a decrease in T/C compared to placebo (PL) or isolated supplementation. In addition, this combination promoted better distance travelled in the Cooper test after 9 weeks of supplementation. Therefore, the combined use of 3 g/day of CIT and BR (300 mg/day of NO_3^-) could promote a faster muscle recovery state, but without preventing EIMD.

The conclusions obtained in this doctoral thesis indicate that the combination of these two supplements can be of great help to professionals working with the athlete to improve aerobic performance and recovery.

Keywords: amino acids; ergogenic aids; physical performance; nitric oxide; aerobic; anaerobic; citrulline; nitrate; sports performance; beetroot; recovery; triathlon; performance; ergogenic aids; muscle fatigue; recovery; hormones.

Resumen Artículo 1

Las ayudas ergogénicas relacionadas con el NO, como la ARG, han demostrado tener un impacto positivo en el rendimiento deportivo a través de varios mecanismos fisiológicos y metabólicos. Sin embargo, los resultados de las investigaciones han demostrado ser controvertidos. Las grandes diferencias en cuanto a las vías metabólicas requeridas y las demandas fisiológicas entre las disciplinas deportivas aeróbicas y anaeróbicas podrían ser las razones. El objetivo de esta revisión sistemática y metaanálisis fue evaluar los efectos de la suplementación con ARG en el rendimiento aeróbico ($<VO_{2máx}$) y anaeróbico ($>VO_{2máx}$). Asimismo, mostrar la dosis y el momento efectivo de esta suplementación. Se realizó una búsqueda estructurada de acuerdo con la declaración PRISMA® (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) y las directrices PICOS en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Web of Science (WOS) y Scopus desde el inicio hasta enero de 2020. Se incluyeron 18 estudios que comparan la suplementación con ARG con un PL en una situación idéntica y que prueban sus efectos en las pruebas de rendimiento aeróbico y anaeróbico. Se eliminaron los ensayos que analizaban la suplementación con otros suplementos y no se filtró el nivel del atleta, el género, la etnia o la edad. El metaanálisis realizado incluyó 15 estudios y se utilizó el modelo de efectos aleatorios y las diferencias medias estandarizadas (DME) agrupadas según la *g* de Hedges. Los resultados revelaron que la suplementación con ARG podía mejorar las pruebas de rendimiento aeróbico (DME, 0,84; IC del 95%, 0,12 a 1,56; magnitud de la DME (DMS), grande; I^2 , 89%; $p = 0,02$) y anaeróbico (DME, 0,24; IC del 95%, 0,05 a 0,43; DMS, pequeña; I^2 , 0%; $p = 0,01$). En conclusión, los protocolos de suplementación aguda de ARG para mejorar el rendimiento aeróbico y anaeróbico deben ajustarse a 0,15 g/kg de peso corporal ingeridos entre 60-90 min antes. Además, la suplementación crónica de ARG debería incluir 1,5-2 g/día durante 4-7 semanas para mejorar el rendimiento aeróbico, y 10-12 g/día durante 8 semanas para mejorar el rendimiento anaeróbico.

Palabras clave: aminoácidos; ayudas ergogénicas; rendimiento físico; óxido nítrico; aeróbico; anaeróbico.

Resumen Artículo 2

La CIT y el BR son ayudas ergogénicas y precursores del óxido nítrico (NO). Además, ambos suplementos parecen tener otras acciones a nivel del metabolismo que pueden beneficiar el rendimiento de la fuerza y la potencia aeróbica. Ambos suplementos han sido estudiados en numerosas investigaciones de forma aislada. Sin embargo, la evidencia científica que combina ambos suplementos es escasa y, según el conocimiento de los autores, no hay ningún estudio actual sobre atletas de resistencia. Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue determinar el efecto de 9 semanas de suplementación de CIT más BR sobre el rendimiento de fuerza máxima y de resistencia y la potencia aeróbica en triatletas masculinos. Este estudio fue un ensayo aleatorio, doble ciego y controlado con PL en el que los participantes ($n = 32$) fueron distribuidos aleatoriamente en cuatro grupos diferentes: grupo PL (PLG; $n = 8$), grupo CIT más BR (CIT- BRG; 3 g/kg/día de CIT más 3 mg/kg/día de NO_3^- ; $n = 8$), grupo CIT (CITG; 3 g/kg/día; $n = 8$) y el grupo BR (BRG; 3 mg/kg/día de NO_3^- ; $n = 8$). Antes (T1) y después de 9 semanas (T2), se realizaron cuatro pruebas de condición física para evaluar el rendimiento deportivo: la prueba de salto horizontal (HJUMP), el test de dinamometría de agarre de la mano (DYN), la prueba de abdominales de 1 minuto (1-MAT) y, por último, el CP. Aunque no se encontraron interacciones significativas (tiempo x grupos de suplementación) para las pruebas de fuerza ($p > 0,05$), la suplementación CIT- BRG presentó una tendencia positiva en las pruebas HJUMP y 1-MAT confirmada por el aumento significativo entre los dos momentos del estudio en CIT-BRG. Asimismo, CIT-BRG presentó interacciones significativas en la prueba de potencia aeróbica confirmada por la mejora del $\text{VO}_{2\text{máx}}$ estimado de este grupo durante el estudio respecto a los otros grupos de estudio ($p = 0,002$; $2p = 0,418$). En resumen, la suplementación con 3 g/día de CIT y 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) durante 9 semanas pudo aumentar la fuerza máxima y de resistencia. Además, en comparación con la suplementación de CIT o BR sola, esta combinación mejoró el rendimiento en pruebas relacionadas con la potencia aeróbica.

Palabras clave: citulina; nitrato; rendimiento deportivo; remolacha; recuperación; triatlón.

Resumen Artículo 3

La CIT y el BR son ayudas ergogénicas ampliamente estudiadas. Sin embargo, ambos suplementos se han estudiado en ensayos a corto plazo y por separado. Según el conocimiento de los autores, hasta la fecha no se han investigado los efectos de la combinación de suplementos de CIT y BR en el estado de recuperación observado por la distancia recorrida en el CP, el EIMD y el estado hormonal anabólico/catabólico. Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar el efecto de la mezcla a largo plazo (9 semanas) de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) sobre la recuperación por la distancia recorrida en el CP, los marcadores EIMD (urea, creatinina, AST, ALT, GGT, LDH y CK) y las hormonas anabólicas/catabólicas (testosterona, cortisol y el T/C) en triatletas masculinos entrenados. Treinta y dos triatletas fueron distribuidos aleatoriamente en cuatro grupos diferentes de ocho triatletas en este ensayo doble ciego, controlado con PL: grupo PL (PLG), grupo CIT (CITG; 3 g/día de CIT), grupo BR (BRG; 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-)) y grupo CIT-BR (CIT-BRG; 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-)). Se recogió la distancia recorrida en el CP y muestras de sangre de todos los participantes al inicio (T1) y después de 9 semanas de suplementación (T2). No hubo diferencias significativas en la interacción entre el grupo y el tiempo en los marcadores EIMD (urea, creatinina, AST, ALT, GGT, LDH y CK) ($p > 0,05$). Sin embargo, se observaron diferencias significativas en la interacción grupo-tiempo en la distancia recorrida en el CP ($p = 0,002$; $\eta^2p = 0,418$), el cortisol ($p = 0,044$; $\eta^2p = 0,247$) y el T/C ($p = 0,005$; $\eta^2p = 0,359$). Concretamente, se observaron diferencias significativas en la distancia recorrida en el CP en el cambio de porcentaje ($p = 0,002$; $\eta^2p = 0,418$) entre CIT-BRG y PLG y CITG, en el cambio de porcentaje de cortisol ($p = 0,049$; $\eta^2p = 0,257$) y en el cambio de porcentaje de T/C ($p = 0,018$; $\eta^2p = 0,297$) entre CIT-BRG y PLG. En conclusión, la combinación de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) de suplementación durante 9 semanas no presentó ningún beneficio para el EIMD. Sin embargo, el CIT + BR mejoró el estado de recuperación al evitar un aumento del cortisol y mostrar un aumento de la distancia recorrida en el CP y en el T/C.

Palabras clave: triatlón; rendimiento; ayudas ergogénicas; fatiga muscular; recuperación; hormonas.

PRÓLOGO

Actualmente, la investigación sobre las ayudas ergogénicas en el ámbito deportivo es de especial interés tanto para el ámbito científico como para los profesionales de la salud (nutricionistas, entrenadores, médicos, ...). La mayoría de estas investigaciones se han realizado de forma aislada, es decir, sin combinarse con otros suplementos. No hay duda de que, para estudiar un suplemento, primero se tiene que analizar de forma aislada para ver su potencial. Por ello, esta tesis doctoral se centra en analizar el efecto de la combinación de dos suplementos populares en el ámbito del deporte de élite, concretamente en triatletas masculinos, y de esta forma aportar ese pequeño grano de arena a la ciencia de la nutrición deportiva.

1. INTRODUCCIÓN



“La constancia en el esfuerzo es el mejor lápiz para diseñar el futuro”

1.1. TRIATLÓN

El triatlón es un deporte de carácter olímpico y multidisciplinar. Consta de tres disciplinas deportivas: natación, ciclismo y carrera, actividades que se realizan de forma continua sin interrupción (1).

El triatlón como deporte multidisciplinar tiene dos transiciones (tiempo en el que se cambia de una disciplina a otra). En estas, el atleta deja el material que ha empleado y se prepara para la siguiente. La primera transición sucede cuando termina la natación, en la cual el triatleta deja todo el material (gorro, gafas, bañador y neopreno) para colocarse los materiales apropiados del ciclismo (casco y zapatillas) y posteriormente montarse en la bicicleta. La segunda transición se realiza al finalizar el ciclismo, por lo que el atleta debe dejar los materiales del ciclismo (casco, zapatillas y la propia bicicleta), para ponerse las zapatillas adecuadas para realizar la carrera a pie (2).

El triatlón tiene su origen en la isla de Hawái, en el año 1978, cuando los marines estadounidenses sostienen que deben dominar más de un deporte en simultáneo. De esta manera surge una competición en la que, sin descanso, se realizan las tres disciplinas (natación, ciclismo y la carrera) (3).

Los antecedentes de este deporte (708 a. C) se ubican en la antigua Grecia con una prueba denominada Pentatlón. A principios del siglo XX tiene lugar un evento llamado Triatlón en los Juegos Olímpicos de Sant Louis y, en Europa se inicia en 1921 cuando Francia realiza la prueba que tuvo por nombre “Los Tres Deportes” (4). En España, el primer triatlón se realizó en Cantabria en 1963. En nuestro país, se encarga de este deporte la Federación Española de Triatlón (FETRI), que es de carácter privado, y se rige por lo dispuesto en la Ley 10/1990, de 15 de octubre, del Deporte, por el Real Decreto 1835/1991, de 20 de diciembre, sobre Federaciones Deportivas Españolas. FETRI es autónoma y se rige por los estatutos establecidos de acuerdo con las normas (5). El interés que ha generado a nivel mundial ha sido importante y llega a ser considerada como parte de las olimpiadas a partir del año 2006. Existen distintos tipos de triatlón según la distancia recorrida (Tabla 1) (6).

1.2. DIFERENTES DISTANCIAS DEL TRIATLÓN

El triatlón es uno de los deportes más completos por las distintas modalidades que lo componen y las diferentes distancias. Estas se adaptan a ciertas capacidades físicas. Entre ellas, están involucradas la capacidad cardíaca y muscular (metabolismo aeróbico), el suministro y utilización de oxígeno por la musculatura (metabolismo anaeróbico aláctico) y la acumulación de ácido láctico (AL) que aportará la energía para nutrir a los músculos cuando el cuerpo no pueda proporcionar suficiente oxígeno para alimentar las vías aeróbicas (metabolismo anaeróbico), de manera que el deportista pueda desarrollar velocidad y fuerza. Esta prueba implica un gran esfuerzo para el deportista, por lo que los sistemas lácticos aeróbicos (sistema fosfágenos) y anaeróbicos (glucolisis anaeróbica) trabajan conjuntamente permitiendo el correcto desempeño del deportista en altas intensidades (7).

El triatlón tiene aplicación en diferentes versiones y/o modalidades. La más corta es el triatlón súper sprint y la más larga la conocida como Ironman (Tabla 1). Cabe destacar que, en cualquiera de las versiones, el deportista requiere de un entrenamiento intenso y completo que le permita resistir una alta demanda física en un periodo prolongado de tiempo (8).

Tabla 1. Tipos de triatlón de acuerdo con la distancia recorrida. Modificado de Anta C et al., (9).

	NATACIÓN	CICLISMO	CARRERA	DURACIÓN
SPRING	750 metros	20 kilómetros	5 kilómetros	55-90 minutos
OLÍMPICA	1500 metros	40 kilómetros	10 kilómetros	110-160 minutos
HALF	1900 metros	90 kilómetros	21 kilómetros	240-330 minutos
IRONMAN				
LARGA	3000 metros	120 kilómetros	30 kilómetros	360-540 minutos
DISTANCIA				
IRONMAN	3800 metros	180 kilómetros	42 kilómetros	480-900 minutos

Por otro lado, el triatlón tradicional es el que se ha incorporado como competición olímpica, e implica 1.500 metros de natación, 40 kilómetros de ciclismo y 10 kilómetros de carrera, los cuales se recorren en un tiempo aproximado de más de 2 horas entre los mejores del mundo. Sin embargo, para otros deportistas puede requerir de un tiempo de hasta 6 horas; todo dependerá de la preparación y de las capacidades físicas que se hayan desarrollado, además de otros factores externos que pueden influir como el entorno, el tipo de entrenamiento, los materiales empleados y las características de los adversarios (6).

Además, existe el triatlón súper sprint, una competición perfecta para aquellos que se inician en este deporte. Es importante mencionar que igualmente se requiere de una preparación física, nutricional y psicológica por un periodo prolongado de tiempo. Esta prueba consiste en 400 metros de natación, 10 kilómetros de ciclismo y 2,5 kilómetros de carrera (10).

El Ironman tiene diferentes modalidades, que se diferencian en el recorrido de cada una de las disciplinas y, por lo tanto, en la alimentación y planificación del entrenamiento. El Half Ironman o triatlón de media distancia (MD) es de recorrido más corto, entre otras modalidades, en natación se deben alcanzar los 1900 metros, 90 km en ciclismo y 21 km de carrera y, por lo general, tiene un tiempo aproximado de 4 horas en los atletas élite y de entre 5 a 6 horas en los deportistas amateur (11). Por otro lado, se encuentra el triatlón de larga distancia (LD) que consta de 3000 metros de natación, 120 kilómetros en bicicleta y 30 kilómetros de carrera. El Ironman puede constar de 3800 metros de natación, 180 kilómetros de ciclismo y 42 kilómetros de carrera, y el recorrido oscila entre 10 y 17 horas, dependiendo de la capacidad del deportista y las condiciones propias del entorno donde se realiza la competición (11).

Para poder realizar este tipo de competiciones, es necesario hacer una preparación física específica durante un tiempo prolongado no menor a 6 meses en deportistas principiantes y/o 4 meses en deportistas con cierta trayectoria. Es importante destacar que la edad puede influir en la capacidad aeróbica, la fuerza y la flexibilidad, y, por lo tanto, afectar al rendimiento final (10).

También, uno de los elementos importantes durante la competición son las transiciones, las cuales deben formar parte del entrenamiento, ya que el tiempo que se demore el deportista en cambiar de una disciplina a otra influirá en la posición que logre en la competición. En los días previos a la prueba, el deportista durante su entrenamiento utilizará la indumentaria que llevará en la competición para así evitar confusiones e inconvenientes, además de verificar que la ropa y el calzado sean adecuados, y que permitan al atleta competir en óptimas condiciones. Es por ello por lo que el entrenamiento debe ser simulado lo más realmente posible al contexto donde se va a desarrollar la prueba. Así, el deportista se aclimatará a la temperatura, humedad, presión atmosférica, tipo de bicicleta y calzado, entre otros (12).

Existen otras modalidades de triatlón que se han considerado como tal, ya que logran combinar más de dos de las disciplinas deportivas que conforman el triatlón tradicional. Estas modalidades pueden ser largas y/o cortas. En ocasiones pueden darse competiciones sprint más cortas de lo habitual. Estas modalidades (13) se presentan la tabla 2:

Tabla 2. Modalidades del triatlón. Modificado de Burke L (13).

MODALIDAD	SEGMENTO 1	SEGMENTO 2	SEGMENTO 3
DUATLÓN	Carrera a pie	Ciclismo	Carrera a pie
DUATLÓN CROSS	Carrera a pie	Bicicleta de montaña	Carrera a pie
TRIATLÓN BLANCO	Carrera a pie	Ciclismo	Esquí de fondo
ACUATLÓN	Carrera a pie	Natación	Carrera a pie

En la tabla 3 se presenta un calendario con el lugar, la fecha, distancia, categorías, tipos y modalidades de las competiciones de las diferentes modalidades de triatlón que se realizaron en España durante el año 2021.

Tabla 3. Calendario Federación Español de Triatlón 2021. (14).

Nombre	Lugar	Fecha	Distancias	Categorías	Tipo	Modalidades
Campeonato de España y Campeonato del Mundo de Triatlón Cros - El Anillo (Cáceres)	El Anillo	2021-10-31 T08:00:00	Sprint	Campeonato de España	Nacional	Triatlón Cros
Copa de España Triatlón MD y LD - Half Triatlón de Sevilla	Sevilla	2021-10-30 T08:00:00	MD	Copa de España	Nacional	- Triatlón LD - Triatlón MD
Copa de España Triatlón MD y LD - Half Triatlón de Ibiza	Ibiza	2021-10-24 T08:00:00	MD	Copa de España	Nacional	- Triatlón LD - Triatlón MD
ProTour FETRI Grupos de Edad - Campeonato de España de Triatlón SuperSprint - Madrid	Madrid	2021-10-23 T08:00:00	SuperSprint	Campeonato de España	Nacional	Triatlón
ProTour Madrid	Casa de Campo	2021-10-23 T08:00:00	SuperSprint	Otros	Internacional	Triatlón
Copa de Europa de Triatlón - Barcelona	Barcelona	2021-10-10 T08:00:00	Sprint	Copa de Europa	Internacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón (Sprint) - Pontevedra	Pontevedra	2021-10-02 T08:00:00	Sprint	Campeonato de España	Nacional	Triatlón

Tabla 3. Calendario Federación Español de Triatlón 2021 (14). Cont.

Nombre	Lugar	Fecha	Distancias	Categorías	Tipo	Modalidades
Campeonato de Europa de triatlón - Valencia	Valencia	2021-09-25 T08:00:00	- Olímpico - Sprint	Campeonato de Europa	Internacional	Triatlón
Campeonato de Europa XTERRA de Duatlón Cros y triatlón Cros - Dolomiti Paganella	Andalo	2021-09-24 T09:00:00	Sprint	Campeonato de Europa	Internacional	- Duatlón Cros - Triatlón Cros
Campeonato del Mundo de Duatlón LD - Grupos de Edad - Zofingen	Zofingen	2021-09-19 T09:00:00	LD	Campeonato del Mundo	Internacional	Duatlón
Campeonato de España de Triatlón de MD y "Aquabike" - Bilbao	Bilbao	2021-09-18 T08:00:00	MD	Campeonato de España	Nacional	Triatlón MD
Campeonato de España de Triatlón por Relevos - Roquetas	Roquetas de Mar	2021-09-12 T08:00:00	SuperSprint	Campeonato de España	Nacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón por Relevos de Talentos - Roquetas	Roquetas de Mar	2021-09-12 T08:00:00	Relevos	- Campeonato de España - Talento	Nacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón Contrarreloj por Equipos de Talentos - Roquetas	Roquetas de Mar	2021-09-11 T08:00:00	SuperSprint	- Campeonato de España - Talento	Nacional	Triatlón
Copa del Rey Go Fit de Triatlón y Copa de la Reina Iberdrola de Triatlón - Roquetas	Roquetas de Mar	2021-09-11 T08:00:00	Sprint	Campeonato de España	Nacional	Triatlón

Tabla 3. Calendario Federación Español de Triatlón 2021 (14). *Cont.*

Nombre	Lugar	Fecha	Distancias	Categorías	Tipo	Modalidades
Campeonato de Europa de Triatlón LD - Grupos de Edad - Roth	Roth	2021-09-05 T09:00:00	LD	Campeonato de Europa	Internacional	Triatlón
Copa de Europa Junior de Triatlón - Banyoles	Banyoles	2021-09-05 T08:00:00	Sprint	Copa de Europa	Internacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón (Olímpico) - Banyoles	Banyoles	2021-09-04 T08:00:00	Olímpico	Campeonato de España	Nacional	Triatlón
Campeonato del Mundo de Triatlón de LD y Aquabike - Grupos de Edad - Almere	Almere	2021-09-03 T10:00:00	LD	Campeonato del Mundo	Internacional	Triatlón LD
Encuentro Nacional de Menores - Estanca de Alcañiz	Estanca de Alcañiz	2021-08-12 T08:00:00	Otras	Otros	Nacional	Triatlón
2º Clasificatorio Campeonato de España de Triatlón (Olímpico) - Logroño	Logroño	2021-07-24 T08:00:00	Olímpico	Clasificatorio Triatlón	Nacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón por Autonomías en Edad Escolar -Almazán	Almazán	2021-07-17 T09:00:00	SuperSprint	Campeonato de España	Nacional	Triatlón
1º Clasificatorio Campeonato de España de Triatlón (Olímpico) - Almazán	Almazán	2021-07-17 T08:00:00	Olímpico	Clasificatorio Triatlón	Nacional	Triatlón

Tabla 3. Calendario Federación Español de Triatlón 2021 (14). *Cont.*

Nombre	Lugar	Fecha	Distancias	Categorías	Tipo	Modalidades
Campeonato de Europa de Triatlón MD, Aquabike y Acuatlón - Grupos de Edad - Challenge Walchsee	Walchsee	2021-06-27 T09:00:00	MD Otras	Campeonato de Europa	Internacional	Acuatlón Aquabike Triatlón
Copa del Mundo de Paratriatlón - Coruña	La Coruña	2021-06-20 T08:00:00	Sprint	Copa del Mundo	Internacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón por Relevos Mixtos - Coruña	Coruña	2021-06-20 T08:00:00	Relevos	Campeonato de España	Nacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón por Relevos Mixtos de Talentos - Coruña	Coruña	2021-06-20 T08:00:00	Relevos	- Campeonato de España - Talento	Nacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón por Clubes - Coruña	Coruña	2021-06-19 T21:00:00	Sprint	Campeonato de España	Nacional	Triatlón
Copa de España Triatlón MD y LD - Half Triatlón La Rioja	La Rioja	2021-06-19 T08:00:00	MD	Copa de España	Nacional	Triatlón LD Triatlón MD
2º Clasificatorio Campeonato de España de Triatlón (Sprint) - Portugalete	Portugalete	2021-06-13 T08:00:00	Sprint	Clasificatorio Triatlón	Nacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón SuperSprint por Clubes 2x2 - Águilas	Águilas	2021-06-06 T14:00:00	SuperSprint	Campeonato de España	Nacional	Triatlón

Tabla 3. Calendario Federación Español de Triatlón 2021 (14). *Cont.*

Nombre	Lugar	Fecha	Distancias	Categorías	Tipo	Modalidades
Campeonato de España de Triatlón por Relevos/Parejas - Águilas	Águilas	2021-06-05 T23:55:00	SuperSprint	Campeonato de España	Nacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón SuperSprint por Clubes - Águilas	Águilas	2021-06-05 T22:00:00	SuperSprint	Campeonato de España	Nacional	Triatlón
Campeonato de España de Triatlón de LD - Platja d'Aro	Platja d'Aro	2021-05-30 T09:00:00	LD	Campeonato de España	Nacional	Triatlón LD
1º Clasificatorio Campeonato de España de Triatlón (Sprint) - Mérida	Mérida	2021-05-30 T08:00:00	Sprint	Clasificatorio Triatlón	Nacional	Triatlón
Copa de España Triatlón MD y LD - Half Triatlón de Pamplona	Pamplona	2021-05-15 T14:00:00	MD	Copa de España	Nacional	Triatlón LD Triatlón MD
Copa de Europa de Triatlón - Melilla	Melilla	2021-04-18 T08:00:00	Sprint	Copa de Europa	Internacional	Triatlón
Campeonato del Mundo de Triatlón de Invierno - Andorra	San Julia de Loria	2021-03-20 T08:00:00	Invierno	Campeonato del Mundo	Internacional	Triatlón de Invierno
Campeonato de España de Triatlón de Invierno - Ansó	Anso	2021-02-14 T08:00:00	Invierno	Campeonato de España	Nacional	Triatlón de Invierno

1.3. PLANIFICACIÓN DIETÉTICA

La planificación nutricional del triatleta ha de individualizarse y variarse en función del momento de la temporada y el estado fisiológico o patológico del deportista, mejorando de este modo su salud y rendimiento.

El uso planificado, intencionado y estratégico de la periodización de nutrientes permite mejorar las adaptaciones al entrenamiento, el rendimiento deportivo y la recuperación del atleta. En este sentido, son varias las estrategias que pueden emplearse para manipular la ingesta de nutrientes promoviendo de este modo adaptaciones al entrenamiento (entrenar con baja disponibilidad de carbohidratos (CHO), entrenamiento en ayunas, doble sesión de entrenamiento, con alta disponibilidad de CHO, entrenamiento del sistema digestivo, etc.) (15–17).

Las estrategias de manipulación de CHO más comunes son el entrenamiento con baja (train low) y alta disponibilidad de CHO (train high) (15):

- Train low: esta estrategia presenta distintas variantes en cuanto a la baja disponibilidad de CHO: a) podría ser un glucógeno muscular o hepático bajo, b) ingesta reducida de CHO durante y post-ejercicio, c) una combinación de todos ellos (15–17).

- Train high: en este método los niveles de glucógeno muscular y hepático previo al ejercicio son elevados y/o se aportan CHO exógenos durante el ejercicio (15–17).

Por lo tanto, cabe destacar que la manipulación de los CHO a lo largo de la temporada se convierte en una estrategia esencial para incrementar las reservas de glucógeno muscular mejorando así el rendimiento del atleta. Un desequilibrio entre las necesidades e ingesta dietética de CHO puede ser la causa de un bajo rendimiento en el deportista. De ahí la importancia de que el atleta cuente con una planificación nutricional personalizada a lo largo del desarrollo en cada uno de los periodos preparatorios en los que se encuentre (15–17).

Por último, los requerimientos diarios de nutrientes para un triatleta estarán determinados por la carga de entrenamiento, sus necesidades específicas, los objetivos de entrenamiento, los objetivos de composición corporal y la salud (18).

1.3.1. Periodo preparatorio

La preparación general es la base fundamental para llevar a cabo una buena temporada. Para ello, se trabajarán las habilidades básicas del triatleta, esto es, el desarrollo aeróbico y de la fuerza y la técnica (19,20).

Durante este periodo se produce un elevado gasto de energía, debido a que se realizan sesiones con grandes volúmenes de entrenamiento a intensidad baja en las que los CHO y las grasas son el combustible principal. En este sentido, se recomienda una ingesta elevada de CHO (6-12 g/kg/día) y grasas (1,5-2 g/kg/día). Asimismo, puesto que también se desarrolla un trabajo de fuerza, se recomienda una ingesta de proteína de 1,5-1,7 g/kg/día tanto en la dieta diaria como post-ejercicio (18,21,22).

Una vez adquiridas las habilidades básicas, se comenzará a entrenar las capacidades avanzadas del atleta, es decir, el desarrollo anaeróbico, la potencia y la velocidad. Todo ello se llevará a cabo en el periodo específico de entrenamiento (19,20). Dada la mayor intensidad de los entrenamientos, el principal combustible serán los CHO, por lo que la ingesta se debe mantener como en la fase anterior (6-12 g/kg/día). Del mismo modo, la ingesta de proteínas se establece en rangos similares a los descritos anteriormente (1,5-1,7 g/kg/día). Sin embargo, se recomienda reducir la ingesta de grasas, dado que el gasto de energía total es menor (1-1,5 g/kg/día) (18,21,22).

1.3.2. Periodo competitivo

Durante este periodo los entrenamientos y competiciones se caracterizan por presentar una intensidad cada vez mayor (siendo sesiones de corta duración y alta intensidad) (19). Ello implica que sea necesaria una ingesta elevada de CHO (8-12 g/kg/día). A su vez, se recomienda reducir la ingesta de grasas (0,8-1,2 g/kg/día), mientras que la ingesta de proteínas se mantiene a fin de preservar la masa muscular (MM) (18–20).

1.3.2.1. Ingesta pre-competición

En la semana previa al evento se recomienda realizar una supercompensación de glucógeno en los 2-3 días previos a la competición. Para ello, el atleta deberá ingerir entre 7-12 g/CHO/kg al día, teniendo como objetivo el aumento significativo de las reservas de glucógeno, mediante el aumento de CHO en la dieta, acompañado por una disminución progresiva de la intensidad y carga del entrenamiento. En este sentido, es importante mencionar que durante los entrenamientos se debe haber practicado este tipo de dieta, con el objetivo de evaluar la tolerancia y ajustar cantidades o alimentos, si fuese necesario. De esta manera, el día de competición no habrá ningún elemento nuevo que pudiera ocasionar molestias gastrointestinales. Cabe indicar que una ingesta de CHO mayor a 12 g/kg/día puede dar lugar a una mayor reserva de glucógeno, pero no implica que se traduzca en un mayor rendimiento (21).

En relación a las proteínas, a fin de mejorar la síntesis de proteína muscular (MPS), el atleta debe consumir una cantidad moderada de proteína en la comida previa al ejercicio (0,25-0,3 g/kg), puesto que permitirá que las tasas de MPS se incrementen mucho más rápido durante las primeras fases de la recuperación debido a una mayor disponibilidad de aminoácidos (23).

Es importante que el atleta se asegure de estar bien hidratado antes de comenzar el ejercicio, ya que empezar en un estado de hipohidratación puede afectar al rendimiento. La ingesta previa de líquidos debe realizarse minuciosamente para evitar el riesgo de deshidratación, para lo cual el atleta debe tomar bebidas gradualmente (5-7 ml/kg peso) en las 4 h anteriores al ejercicio. En caso de que el individuo no produzca orina o esta sea muy oscura o concentrada, se deben beber otros 3-5 ml/kg aproximadamente 2 h antes del evento. A su vez, se recomienda una pequeña toma (aproximadamente de 300-400 ml) al final del calentamiento para reponer las pérdidas debidas a la sudoración durante esta fase (22,24).

Además, se deben consumir bebidas que contengan sodio o pequeños snacks salados o alimentos que lo contengan, de acuerdo con los niveles de tolerancia que se han evidenciado en el entrenamiento, por lo que no deben bajar de 500 mg/hora ni superar los 1000 mg/hora. Ello permitirá estimular la sed y retener los líquidos ingeridos (21).

Un ejemplo de desayuno previo a una competición de triatlón podría ser: dos tostadas de pan blanco con queso desnatado, un vaso de zumo de melocotón, cuatro cucharadas de miel, y un gel deportivo pre-competición que aporte 30 g de CHO.

La ingesta de CHO durante la prueba muestra beneficios constantes bien establecidos. Un aporte adecuado de CHO durante la prueba puede retrasar la aparición de fatiga en el deportista (24). Las recomendaciones sobre la ingesta de CHO durante la competición se ven condicionadas por el tipo de evento deportivo (distancia y duración de la prueba). En este sentido, las recomendaciones generales indican la ingesta de 30-60 g/h en eventos con una duración de 1-2,5 h y de 60-90 g/h para eventos de una duración mayor. Además, se debe tener en cuenta que si se superan los 60 g/h, el atleta debe consumir una mezcla de glucosa y fruta en relación 2:1 (23,24).

En cuanto a la hidratación, está condicionada por la intensidad, el nivel de entrenamiento, la temperatura, y la humedad del lugar en el que se realizará la competición. Suele recomendarse entre 6-8 ml/kg/hora de ejercicio, teniendo preferencia las bebidas isotónicas que contienen 6-8% de CHO y 20-50 mg de sodio (21).

La ingesta de CHO tras el ejercicio estimula la síntesis de glucógeno muscular y hepático. Por lo tanto, se recomienda una toma inicial de CHO de 1-1,5g/kg/h de alto índice glucémico para beneficiar la resíntesis máxima de glucógeno dentro de las primeras 4 h después del evento. Posteriormente, se debe seguir con 0,5 g/kg peso/hora durante las 4-6 horas de recuperación posteriores o hasta que se reanuden las comidas regulares. El objetivo ideal es que el atleta llegue a ingerir 8-10 g/CHO/kg durante las primeras 24 horas de recuperación, una vez acabado el ejercicio (22–24).

La adición de proteína (0,25-0,4 g/kg/h) a la ingesta de CHO post-ejercicio (0,8g/kg/h) permite lograr una mayor velocidad de resíntesis de glucógeno, siendo necesario para ello que estas proteínas sean muy fácilmente digeribles o estén formadas por una mezcla de hidrolizado proteico y aminoácidos. En relación a este punto, hay que tener en cuenta que cuando la ingesta de CHO es adecuada (>1 g/kg/h), la ingesta conjunta de proteínas parece no producir ningún efecto adicional sobre la síntesis de glucógeno (22–24).

Del mismo modo, se debe mantener una hidratación óptima después de la práctica deportiva. Se recomienda beber de 1,2 a 1,5 litros (l) de líquido que contenga sodio (20 a 50 mmol/L) por cada kilogramo de peso corporal perdido durante el entrenamiento o competición. De este modo, la ingesta de líquidos permitirá una hidratación óptima y acelerará el proceso de regeneración (22–24).

1.3.3. Periodo de transición

El objetivo principal de este periodo es la recuperación del triatleta, la cual puede realizarse de manera activa o pasiva. En esta fase, el volumen e intensidad de entrenamiento son muy bajos, por lo que se debe reducir la ingesta de energía y los requerimientos de nutrientes son muy parecidos a los de la población general: CHO 3-5 g/kg/día; proteínas 0,8-1,2 g/kg/día y grasas 1-1,5 g/kg/día (18,21,22).

1.4. PLANIFICACIÓN DEL ENTRENAMIENTO

Los triatletas soportan entrenamientos que se caracterizan por una combinación de intensidad y volumen que varía en función del momento de la temporada y del objetivo perseguido (2). Son varios los elementos involucrados en la toma de decisiones del entrenador a la hora de preparar un plan individualizado para el entrenamiento y la competición de un atleta: a) relación trabajo-descanso; b) lesiones y enfermedades del atleta; c) adaptaciones al entrenamiento (2). Sin embargo, cabe destacar que, además de estos elementos, existen otros de especial interés que jugarán un papel esencial en la elaboración de un plan de entrenamiento personalizado del deportista. Esto es, la propia experiencia del atleta, su seguimiento día a día y la evidencia científica disponible y actual de los métodos y técnicas de entrenamiento enfocados al triatlón. Todo ello ayudará a tomar las decisiones más oportunas en la prescripción del entrenamiento, lo que a su vez permitirá llevar a cabo una planificación adecuada para lograr una progresión de entrenamiento óptima, permitiendo la mejora de las cualidades físicas del atleta, siendo su principal objetivo maximizar el rendimiento del triatleta de cara a la competición (25).

En el triatlón, al igual que en la mayoría de los deportes, existe una periodización del entrenamiento. Dentro de los distintos modelos de periodización, uno de los más empleados es el modelo lineal tradicional, el cual se divide en distintos periodos (preparatorio o pretemporada, competitivo y recuperación o transición), variando la intensidad y volumen de entrenamiento en función de los macrociclos, mesociclos y microciclos (2,26).

1.4.1. Periodo preparatorio

Este es el primer periodo en el que se desarrollan los elementos y habilidades propias que se requieren para la actividad deportiva. El tiempo necesario para su implementación dependerá del nivel en el que se encuentre cada individuo (2).

Puede tener una duración de hasta de 6 meses si el individuo tiene un nivel bajo de entrenamiento, ya que requiere que el deportista se habitúe a las intensidades propuestas y vaya desarrollando las habilidades generales para cualquier tipo de disciplina deportiva (resistencia, velocidad y fuerza). En atletas experimentados, este periodo suele tener una duración de varias semanas, siendo la preparación específica la que ocupe más tiempo, ya que cada disciplina deportiva requiere de unas habilidades físicas específicas (27).

La Etapa de Preparación Física General: en esta primera etapa se desarrollan habilidades que son la base para la realización de cualquier actividad física. Se fundamenta principalmente en el desarrollo de capacidades funcionales, motrices y habilidades como agilidad, fuerza, resistencia y

velocidad. En el caso de deportistas amateur se requiere mayor tiempo de preparación general que en aquellos que ya tienen práctica y desarrolladas estas capacidades (27).

La Etapa de Preparación Física Específica: en esta segunda etapa, se espera ya consolidar las capacidades y habilidades necesarias para el deporte específico. El tiempo de duración dependerá tanto de las capacidades propias del deportista como del tiempo con el que se cuenta para preparar las competiciones (27).

1.4.2. Periodo competitivo

El periodo competitivo comienza a finales de junio y termina a mediados de septiembre. Durante esta fase, en la que habitualmente se realizan dos competiciones semanales (sábados por la tarde y domingos al mediodía), el objetivo principal es la competición y recuperación entre estas (13). El tipo de entrenamiento que se realiza durante esta fase es mayoritariamente de carácter aeróbico (70% del total del entrenamiento) (11,21). Por otro lado, el trabajo aeróbico-anaeróbico (entrenamiento en concentraciones de LA de 4-8 mmol/l) consiste en un 25% del total. El restante 5% consiste en trabajo puramente anaeróbico, por encima de 8 mmol/l (11).

El segundo periodo es el competitivo, que tiene como principal propósito que el deportista se mantenga en forma hasta llegar a la competición logrando un buen rendimiento físico. Es por ello que va aumentando la intensidad y el volumen de la actividad física (27).

Las actividades que se realizan durante este periodo se centran en las técnico-tácticas para asegurar un alto nivel y progreso previo a la competición. Además, se busca consolidar las habilidades y capacidades necesarias para obtener buenos resultados en las pruebas y competencias a realizar. En este periodo la preparación se centra en: lo físico, lo táctico y lo psicológico (27).

1.4.3. Periodo de transición

Este tercer periodo se realiza después de la competición, y no implica una pausa de descanso sin actividad física, sino preparación física, técnico-táctica y psicológica en la que se reflexione sobre el desarrollo de la competencia y se sigan consolidando las habilidades para mejorar las marcas (27).

Cabe indicar que dentro de los distintos modelos de periodización, la denominada periodización inversa es un modelo totalmente opuesto al modelo lineal tradicional, que ha surgido recientemente en los últimos años con gran fuerza (2,3). Las diferencias entre ambos modelos se producen en la intensidad y volumen de los entrenamientos. Mientras que en el modelo lineal tradicional las sesiones se caracterizan por un alto volumen y baja intensidad durante los primeros periodos del macrociclo y

descensos simultáneos de volúmenes de entrenamiento de los periodos consecutivos, el modelo inverso se caracteriza por entrenamientos de alta intensidad y bajo volumen en los inicios del macrociclo, con un descenso gradual de la intensidad e incremento del volumen, o en función del deporte, la intensidad se mantiene y aumenta el volumen durante los siguientes periodos (26,28).

Este modelo de periodización inversa permite obtener las mismas o mayores adaptaciones con un menor tiempo de entrenamiento en comparación con el modelo de periodización lineal tradicional. Por lo tanto, es una estrategia efectiva para la mejora del rendimiento deportivo del atleta (26,28).

Por otro lado, es esencial incluir dentro de la periodización del entrenamiento un programa de fuerza bien estructurado (planificación y periodización) como complemento accesorio del entrenamiento de triatlón, a fin de optimizar el rendimiento deportivo del atleta (mejora de la velocidad aeróbica máxima, economía de carrera y potencia de salto) y reducir el riesgo de lesión (2).

En cuanto a la distribución de la carga de entrenamiento (TID), muchos triatletas se decantan por adoptar el modelo denominado TID polarizado (los entrenamientos presentan un porcentaje significativo de baja intensidad y alto volumen (HVLIT) y entrenamiento de alta intensidad) durante ciertos periodos de la temporada (2), en lugar del modelo TID piramidal (con una alta proporción de entrenamiento de alto volumen y baja intensidad), puesto que el modelo polarizado da lugar a respuestas superiores de variables relacionadas con la resistencia (2,29). Durante el periodo de preparación los atletas muestran una tendencia a un TID en forma de modelo piramidal, mientras que en el periodo pre-competitivo este puede variar en función de las disciplinas de resistencia. En cuanto al periodo competitivo, cabe señalar que se dispone de escasa información sobre el TID, ya que dependerá, entre otros factores, de la cantidad y del tipo de competición y de las estrategias individuales de puesta a punto que llevará a cabo el atleta de cara a las competiciones (29).

Por su parte, la cuantificación de las cargas de entrenamiento y competición dependerá de las características del evento o modalidad de triatlón. Por ejemplo, los atletas que practican triatlón en la modalidad Ironman realizarán durante la semana sesiones de entrenamiento más largas, de baja intensidad de carrera y largas en ciclismo, en comparación con aquellos atletas que practican la modalidad de triatlón olímpico cuya duración de sesiones será probablemente inferior (29).

Por lo tanto, teniendo en cuenta toda la información detallada, puede apreciarse que la planificación del entrenamiento es una herramienta indispensable en la gestión del rendimiento deportivo del triatleta, puesto que las estructuras de planificación, las formas de estructuración del entrenamiento y sus contenidos conforman una estrecha relación con la dinámica de rendimiento. Hay que tener presente que el desarrollo de un entrenamiento no planificado puede dar lugar a sobreentrenamiento, un mayor riesgo de lesión y a una merma del rendimiento deportivo del atleta.

1.5. RENDIMIENTO DEPORTIVO

Son varios los factores esenciales (periodización del entrenamiento, nivel deportivo del atleta y ausencia de lesiones, entre otros) que contribuyen al éxito de un atleta en el deporte, siendo la dieta un pilar fundamental.

Tal y como se ha visto a lo largo de este trabajo, los requerimientos dietéticos de un deportista han de individualizarse y establecerse acorde a varios aspectos como son: el tipo de deporte que practica, el momento de la temporada, los objetivos deportivos y del propio atleta, el medio ambiente y cuestiones prácticas (30,31).

Hoy en día, la nutrición ha cobrado un papel importante a la hora de planificar la temporada del triatlón, ya que el asesoramiento nutricional individualizado antes, durante y después de las sesiones de entrenamiento o la competición es de vital importancia para lograr maximizar el rendimiento y, por ende, alcanzar los objetivos establecidos (30).

Cabe señalar que cuando se habla de asesoramiento o planificación nutricional, se hace referencia a un conjunto de estrategias dietéticas para mejorar el rendimiento deportivo. Dichas estrategias incluyen tanto la manipulación de nutrientes, como el empleo de suplementos para lograr dicha mejora en el deportista (30).

El uso de suplementos es habitual en la práctica deportiva dada su practicidad, portabilidad, tolerancia, y presentación de concentraciones específicas. Entre los distintos tipos de suplementos encontramos los alimentos deportivos, los suplementos médicos y los suplementos para el rendimiento. Dentro de este último grupo, los NO_3^- , la beta-alanina, la cafeína, el bicarbonato sódico, la creatina (CrM) y la CIT son de especial interés como ayudas para la mejora del rendimiento en el triatlón.

- Cafeína: mejora el rendimiento en deportes de resistencia, disminuyendo la percepción de fatiga, permitiendo mantener la actividad a una intensidad superior durante un periodo más largo (30). Se recomienda la ingesta de 3-6 mg/kg de cafeína 45-60 minutos antes del evento. También se han reportado mejoras del rendimiento en carrera con una ingesta de 3-6 mg/kg cada 1-2 h y 2-3 mg/kg cuando empieza a aparecer la fatiga (22,30,31).

- Nitrato (zumo de remolacha): la ingesta crónica (ingesta diaria durante un periodo de tiempo) provoca que los vasos sanguíneos se dilaten aumentando el flujo que riega los músculos y mejorando la contracción muscular. Al mismo tiempo, estimula las mitocondrias que se vuelven más eficientes, creando la misma energía, pero consumiendo menos oxígeno. Es decir, menor consumo de oxígeno para un nivel de intensidad dado de esfuerzo (22,30,31).

Se recomienda tomar en los 10-15 días previos a una prueba para que su toma sea efectiva. Se debe ingerir aproximadamente 8 mmol o 500 ml de nitrato 2-3 horas antes de la carrera, especialmente con una ingesta crónica durante más de 3 días (22,30,31). En caso de que el deportista presente problemas gastrointestinales o sea propenso a ellos, existen concentrados especiales y polvos de zumo de remolacha (BJ) como alternativa para evitar el malestar gastrointestinal (22).

- Beta-alanina: la suplementación diaria con 3,2 a 6,4 g (~65 mg / kg de peso) durante un mínimo de 2 a 4 semanas, puede aumentar el contenido de carnosina (un compuesto que actúa como buffer durante el ejercicio, neutralizando los iones hidrógeno para retrasar la aparición de fatiga) del músculo esquelético. La ingesta dosificada de beta-alanina (dosis divididas consumidas durante el día, 0,8 -1,6 g cada 3-4 horas), se lleva a cabo para minimizar la probabilidad de aparición de efectos secundarios (desde picazón y erupciones cutáneas hasta episodios de parestesia transitoria) (32–35).

- CrM: retrasa la aparición de fatiga muscular, acelera la recuperación post-entreno, incrementa el diámetro de las fibras musculares, permitiendo progresar e incrementar las cargas e intensidad de trabajo, protege y mantiene la MM, y ayuda a aumentar la resistencia y el rendimiento, además de la fuerza (en actividades de corta duración y alta intensidad). La ingesta conjunta de CrM y proteínas/CHO estimula su absorción y favorece su entrada al interior de las células gracias a la acción de la insulina. La dosis diaria recomendada es de 5g/día, preferiblemente después del ejercicio (32–37).

- Bicarbonato de sodio: la suplementación con bicarbonato de sodio se realiza con el fin de mejorar el rendimiento del ejercicio de alta intensidad como amortiguador extracelular. Una dosis de carga estándar (0,3g/kg) mejora el potencial de amortiguación de la sangre y puede influir positivamente en el resultado del rendimiento aumentando el tiempo hasta el agotamiento. La carga (ingesta de pequeñas dosis al día), generalmente 3-4 tomas (junto con las comidas principales), se puede emplear como preparación para eventos de días sucesivos o para evitar periodos de alto riesgo de trastornos intestinales (cercaos al ejercicio físico) (32–35).

- CIT: la combinación de CIT y malato presenta un efecto sinérgico que favorece el potencial ergogénico. La ingesta de este suplemento se ha propuesto recientemente como ayuda ergogénica, Sin embargo, son pocos los estudios que se han realizado para analizar dicho efecto ergogénico y los que existen son poco concluyentes o contradictorios (38). Según apunta la literatura, la CIT podría mejorar la resistencia muscular dinámica y el rendimiento de la fuerza. La evidencia disponible recomienda la ingesta de 8g de CIT una hora antes del evento (38–40).

Cabe indicar que es muy común el uso de estos suplementos de forma aislada por parte de los atletas. Sin embargo, se han llevado a cabo distintos estudios a fin de indagar sobre el efecto del uso

combinado de distintos suplementos, sobre diferentes variables vinculadas con el rendimiento deportivo. Por ejemplo, la toma conjunta de β -hidroxi β -metilbutirato y CrM presenta un efecto sinérgico sobre la potencia aeróbica (41). En este sentido, nuestra investigación muestra que la ingesta conjunta de suplementos precursores del NO puede ser una buena estrategia para optimizar el rendimiento en triatletas, ya que el uso combinado de CIT (3 g/día) y BR (2,1 g/día) (2,1 g de BR contiene 300 mg de nitrato) podría mejorar la fuerza máxima y la fuerza de resistencia en triatletas masculinos (42). Por lo tanto, según refleja la literatura, la ingesta conjunta de estos suplementos puede provocar una mejora del efecto ergogénico (mayor rendimiento) en comparación con la que se tiene con la ingesta de estos suplementos por separado.

1.6. FATIGA

A pesar de intentar controlar las zonas de entrenamiento, la exigencia del intenso entrenamiento de los atletas puede conllevar un alto nivel de estrés físico y mental, produciendo niveles altos de fatiga. Dicha fatiga resulta en una disminución en la capacidad de producir fuerza o potencia en respuesta a la actividad contráctil. El origen de la fatiga muscular es dependiente de varios aspectos vinculados al ejercicio que se realiza, como son la intensidad y la duración del mismo (43). La fatiga puede ser aguda o crónica dependiendo de la duración de esta. La fatiga aguda supone una disminución momentánea del rendimiento que suele volver a los niveles normales transcurridas unas horas, conociéndose como fatiga metabólica. Estos niveles de fatiga son incluso deseables para producir un efecto de supercompensación y, por tanto, una mejor adaptación. Sin embargo, la fatiga crónica consiste en un descenso en el rendimiento, producido por el entrenamiento excesivo no funcional o un síndrome de sobreentrenamiento. Esto puede implicar una disminución del rendimiento durante varias semanas. Por otro lado, el síndrome de sobreentrenamiento es más grave, ya que el descenso en el rendimiento se prolonga durante más tiempo. A esta disminución del rendimiento se la conoce como fatigabilidad (43).

Es importante reseñar que la fatiga no solo es consecuencia de un único factor, puesto que son varios los mecanismos involucrados en su aparición; desempeñando cada uno de ellos un papel específico para la actividad que se está realizando y el estado de salud del sujeto (43). A nivel fisiológico, una activación muscular intensa y/o prolongada produce un incremento en la ratio de adenosín difosfato y adenosín trifosfato (ADP/ATP). Ello conlleva una disminución de la enzima ATPasa y, por tanto, la imposibilidad de producir energía a través de la degradación de adenosín trifosfato (ATP). Cuando el ratio ADP/ATP se incrementa, hay una pequeña reducción en la bomba de ion de Ca^{2+} , incrementando la filtración de Ca^{2+} del retículo sarcoplasmático al citoplasma, acción que está relacionada con la fatiga. La acumulación intracelular de Ca^{2+} activa la calpaína. Esta es una proteasa neutra no lisosomal situada en las regiones I y Z del sarcómero, que se activa a través del incremento de la concentración de Ca^{2+} , siendo responsables de la degeneración de los discos Z del sarcómero, produciendo así EIMD. Los marcadores más habituales del EIMD son la CK, la LDH e incluso el AST (44–46).

El EIMD es dependiente del nivel de entrenamiento de los deportistas, la intensidad, la duración del ejercicio y del tipo de deporte, siendo un elemento a considerar en el rendimiento del deportista, ya que puede tener importantes consecuencias, debido a su relación con el dolor muscular y empeoramiento de la función neuromuscular, pudiendo permanecer sus efectos durante varias semanas (45). Particularmente, las contracciones excéntricas y las acciones de alto impacto producen

significativamente más EIMD que las contracciones concéntricas y las de bajo impacto (47).

La degeneración muscular producida por el ejercicio está relacionada con un incremento en la CK, especialmente la enzima citosólica (CK-MM), que es la que se encuentra principalmente en las líneas M de los sarcómeros del músculo esquelético (48–50). Los niveles de CK sanguíneos se empiezan a considerar altos cuando se sitúan entre 300 IU/L y 500 IU/L. Este marcador puede seguir incrementándose hasta 24–96 horas después del ejercicio, llegando a alcanzar cuatro veces los niveles de reposo (46,50).

También, el EIMD está relacionado con incrementos del LDH, una enzima proteica que convierte piruvato en lactato en la sangre. Los niveles sanguíneos de esta enzima pueden seguir incrementándose hasta 3-5 días después de haber realizado ejercicio, llegando a duplicar los valores en reposo. El incremento depende del tipo de ejercicio realizado, siendo más elevado este número cuanto más exigente sea la actividad (49,51).

Por otro lado, las hormonas anabólicas-catabólicas también tienen un valor importante para monitorizar las adaptaciones al entrenamiento. Sin embargo, a diferencia de los marcadores del EIMD expuestos anteriormente, las hormonas anabólicas como la testosterona o las catabólicas como el cortisol, nos dan una información de adaptación a largo plazo (52–54).

La testosterona es una hormona anabólica y androgénica secretada por el eje hipotalámico-hipofisario-testicular (55,56). La señal para la producción y liberación de testosterona gonadal se origina en el hipotálamo. Las neuronas especializadas en el hipotálamo producen y secretan la hormona liberadora de gonadotropina. Esta hormona viaja directamente a la glándula pituitaria anterior a través de la vena porta hipotalámica-hipofisaria. En la hipófisis, la hormona liberadora de gonadotropina estimula la producción y liberación de la hormona luteinizante y la hormona foliculoestimulante a partir de las células gonadotropas (55,57).

Después de su liberación, estas dos hormonas entran en la circulación y se transportan a las gónadas. Allí, la hormona luteinizante estimula la producción de testosterona en las células de Leydig de los hombres y las células de la teca de las mujeres (55). Un incremento de este marcador es indicador de un estado anabólico. La testosterona actúa como un potenciador de otros mecanismos hormonales como la hormona del crecimiento (GH) y el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1) en el proceso anabólico. También, tiene su efecto en el sistema nervioso al poder interactuar con receptores en las neuronas, incrementar la cantidad de neurotransmisores liberados, regenerar nervios, incrementar el tamaño del cuerpo celular y el tamaño/diámetro de las dendritas. Además, estimula la síntesis de proteínas e inhibe la degradación de proteína como efecto anabólico y anticatabólico respectivamente (55).

Por el contrario, el cortisol es una hormona esteroidea de la familia de los glucocorticoides, siendo el más importante de esta familia, ya que ocupa el 95% de la actividad de todos los glucocorticoides (53,57). Esta es secretada por el eje hipotalámico-hipofisario-adrenal cuando hay un estado catabólico como respuesta al estrés producido por el ejercicio. Durante el ejercicio, este eje responde a numerosos estímulos como las señales homeostáticas neuronales (quimiorreceptores, barorreceptores y osmorreceptores), señales homeostáticas circulantes (glucosa, leptina, ghrelina y péptido natriurético auricular) y señales inflamatorias (interleucina-1, interleucina-6 y factores de necrosis tumoral- α). El cortisol se libera a través de una cascada iniciada por la activación de neuronas que contienen factor liberador de corticotropina del hipotálamo. Este es secretado por el hipotálamo y se transporta a la glándula pituitaria anterior, donde estimula la secreción de la hormona adrenocorticotropa a la circulación periférica. Esta hormona, a su vez, estimula directamente la corteza suprarrenal para que sintetice y secrete glucocorticoides a la circulación general (53). El cortisol estimula la lipólisis en las células adiposas del tejido periférico dando lugar a un menor empleo de glucosa, puesto que la energía se obtiene de la hidrólisis de los triglicéridos y la liberación de los ácidos grasos que se obtienen de la misma. Además, en las células musculares incrementa la degradación proteica y disminuye la síntesis de proteínas. Por esta razón, se liberan lípidos y aminoácidos a la circulación sanguínea (53).

Después de analizar el efecto de la testosterona y el cortisol para el control del estado anabólico-catabólico, se puede interpretar la relación de estas dos hormonas por sus fines antagónicos. Por ello, el T/C ha sido propuesto como un indicador de adaptación al entrenamiento, indicando el incremento de este una mejor adaptación (58).

1.7. RECUPERACIÓN

Los deportistas de élite, al tener un nivel tan alto de estrés fisiológico por la exigencia de sus entrenamientos, necesitan mantener un equilibrio adecuado entre entrenamiento y recuperación (59–61). El entrenamiento prolongado y excesivo y/o una insuficiente recuperación pueden resultar en un entrenamiento excesivo no funcional o un síndrome de sobreentrenamiento (SEE) que conduce a una disminución del rendimiento durante un periodo superior a los 2-3 meses junto a una alteración del estado de ánimo del atleta (OTS) (59,60,62). Esto puede llevar a un incremento del estrés y/o fatiga y, consecuentemente, a un empeoramiento o estancamiento del rendimiento (59). Cabe indicar que, además de los factores indicados, existen otros factores desencadenantes OTS (59,60).

Por otro lado, y a fin de dar una explicación a los múltiples síntomas que presenta este síndrome, se han propuesto diversas hipótesis (hipótesis del glucógeno, de la glutamina, de la fatiga central o del estrés oxidativo entre otros) para conocer la naturaleza del mismo, puesto que las causas exactas que lo desencadenan son desconocidas (60).

A continuación, se muestran los síntomas de sobreentrenamiento (Tabla 4):

Tabla 4. Síntomas del síndrome de sobreentrenamiento. Modificado de Kreher JB et al., (60).

Alteraciones parasimpáticas (a)	Alteraciones simpáticas (b)	Otro
Bradycardia	Agitación	Falta de concentración mental
Fatiga	Insomnio	Anorexia
Depresión	Irritabilidad	Pérdida de peso
Pérdida de motivación	Taquicardia	Músculos pesados, doloridos y rígidos
	Inquietud	Despertar sin refrescar
	Hipertensión	Ansiedad

a Más frecuente en deportes aeróbicos.

b Más común en deportes anaeróbicos.

Para sobreponerse a los exigentes estímulos del entrenamiento, la recuperación es de vital importancia. Por ello, para reducir el riesgo de una recuperación insuficiente, se recomienda una aplicación sistemática de estrategias de recuperación y descanso, junto con otras estrategias relacionadas con el estilo de vida como pueden ser el sueño, la dieta y las actividades sociales (50,60,63).

Uno de los factores más importantes para una correcta recuperación es la nutrición, dado que una ingesta de energía, CHO y proteínas diarias insuficiente puede dar lugar a OTS sin la presencia de otros factores desencadenantes, puesto que puede alterar de forma independiente las respuestas fisiológicas de un determinado deporte (60,62,63). Del mismo modo que una dieta pobre en CHO puede dar lugar a la aparición del síndrome de sobreentrenamiento, una ingesta de energía insuficiente puede ser motivo para desencadenar la aparición de síntomas de la misma índole (64). Además, ingestas bajas de energía pueden resultar en una pérdida excesiva de MM, incluso aumentar el riesgo de fatiga, lesión o enfermedad (63,64). Los contratiempos que pueden ser ocasionados por una ingesta de energía inadecuada pueden conllevar un proceso de recuperación prolongado. Por lo tanto, para garantizar una nutrición adecuada, hay que prestar especial atención a la duración, intensidad, tipo de ejercicio, frecuencia de entrenamiento y cuantificación en los periodos pre y post ejercicio.

La nutrición y la suplementación son dos de las estrategias que se emplean en la actualidad a fin de contrarrestar la sintomatología ocasionada por EIMD. Los estudios realizados hasta la fecha actual no han profundizado sobre el impacto del uso de distintas estrategias nutricionales para paliar los síntomas asociados a EIMD. No obstante, apuntan al empleo de antioxidantes, el β -hidroxi- β -metilbutirato, proteínas, vitaminas, polifenoles y ácidos grasos poliinsaturados n-3 (n-3 PUFA), la cafeína, la taurina como estrategias para reducir los signos y síntomas del EIMD (50).

En cuanto a los suplementos, la ingesta aguda y crónica de β -hidroxi- β -metilbutirato (HMB) da como resultado una mejora en la recuperación post-ejercicio al aumentar la síntesis proteica y disminuir la degradación de proteínas musculares. Una dosis de 3 g/día de HMB disminuye la actividad de CK y LDH posterior al ejercicio. A su vez, la ingesta de glutamina (0,3 g/kg/día) podría mejorar la función muscular y reducir los biomarcadores del EIMD después del ejercicio (50).

La toma de L-glutamina (mínimo 0,3 g/kg/día) puede mejorar la función muscular y reducir los biomarcadores del EIMD después del ejercicio durante el periodo de recuperación (72 horas). Cabe indicar que la ingesta durante una semana de 1,5 g/kg/día de glutamina permite atenuar la respuesta de la CK (50).

La ingesta de taurina (50 mg/g/día) también presenta beneficios post-ejercicio. La suplementación con taurina permite reducir la CK y el dolor. El uso combinado de taurina y

aminoácidos ramificados (BCAA) en una dosis de 6 g/día y 9,6 g/día respectivamente permite reducir el dolor y los marcadores indirectos del EIMD. Además, la ingesta post-ejercicio de 0,1 g/kg/día de taurina permite una recuperación más rápida. No obstante, se necesitan más estudios para establecer una dosis adecuada (50).

En relación a la cafeína, su ingesta pre-ejercicio (45 minutos o 1 hora antes) y nada más terminar el entrenamiento (3-5 mg/kg) presenta una acción analgésica, permitiendo una reducción del dolor muscular (50).

El consumo de BCAA no es una excepción. La ingesta de estos aminoácidos en una relación 2-3/1 1 g entre los aminoácidos leucina/isoleucina y valina reduce el grado de dolor y daño muscular, el esfuerzo percibido y la fatiga mental. Actualmente, los estudios apuntan a que su ingesta puede ser eficaz para combatir el daño muscular moderado (mínimo 200 mg/kg/día durante al menos 10 días) (50,65).

Del mismo modo, dosis de entre 0,54 y 3 g/día de ácidos grasos poliinsaturados n-3 (ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA)), presenta un efecto beneficioso sobre el dolor post-ejercicio y la función muscular durante el periodo de recuperación. No obstante, existen resultados contradictorios en cuanto a este efecto beneficioso (50).

Por otro lado, la ingesta de suplementos de agua post-ejercicio permite la mejora de la función muscular, reducir el dolor y paliar la actividad de CK durante el periodo de recuperación. Estos protocolos hacen referencia a la toma de agua marina y a la combinación de agua marina con agua mineral (50).

Tal y como se ha podido observar, la ingesta de estos suplementos de forma aislada o en combinación con otros es de vital importancia para los atletas, dados sus efectos beneficiosos sobre una variedad de resultados asociados al EIMD.

En relación con este punto, cabe mencionar una de nuestras investigaciones sobre los efectos combinados de la suplementación conjunta de CIT y BR sobre la mejora del estado de recuperación en triatletas entrenados. La CIT presenta propiedades antioxidantes y también actúa como precursor de la ARG en el ciclo del NO; por su parte, el BJ es rico en NO_3^- y betalainas (50,66). Los resultados de esta investigación concluyen que una ingesta de CIT-BR (3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) durante un periodo de 9 semanas muestra un efecto favorable sobre el periodo de recuperación de los deportistas, permitiendo atenuar los niveles de cortisol (66) e incrementar la proporción de testosterona/cortisol, mejorando el estado de recuperación en triatletas entrenados.

1.8. AYUDAS ERGOGÉNICAS

Hoy en día, dadas las exigencias cada vez mayores en el deporte de élite, se ha suscitado un gran interés por parte de los deportistas por la toma de ayudas ergogénicas y suplementos deportivos con el fin de contribuir a la nutrición para optimizar y maximizar tanto el entrenamiento como el rendimiento deportivo (67). Sin embargo, son pocos los productos empleados por los atletas que porten suficientes evidencias científicas sobre su eficacia en la mejora del rendimiento deportivo, así como su especificidad de acción y seguridad (68); dado que, en muchas ocasiones, las afirmaciones que aparecen en las etiquetas de estos productos sobre su contenido y eficacia pueden ser inexactas y engañosas (68).

Dentro de las ayudas ergogénicas y suplementos empleados en los deportes de resistencia, destaca el uso de cafeína, antioxidantes y la CrM por su gran popularidad (69). No obstante, en los siguientes puntos se discutirá la eficacia de aquellos suplementos menos populares y cuyo uso se está extendiendo cada vez más entre los atletas, prestando especial atención a la ARG, CIT y NO_3^- .

1.8.1. Arginina

En adultos, la ARG se sintetiza a través del eje intestinal-renal, siendo la CIT sintetizada a partir de la glutamina, prolina y glutamato en las mitocondrias de las células del intestino (enterocitos), liberándose del intestino delgado y absorbiéndose en los riñones principalmente para la producción de ARG. Su degradación es llevada a cabo por distintas enzimas (arginasa y NOS) a través de múltiples vías, dando como resultado distintos productos (NO, poliaminas, prolina, glutamato, creatina y agmatina) (70).

Dado que el hígado contiene una actividad muy elevada de la enzima arginasa (para hidrolizar ARG en urea más ornitina), la síntesis endógena de ARG no se realiza de forma neta en este órgano a través del ciclo de la urea hepática (70). Además, no solo se metaboliza en su mayor parte en el intestino delgado, sino también en otros tejidos extraintestinales (los adipocitos, las células endoteliales, los enterocitos, los macrófagos, las neuronas y los miocitos) (70,71). Su excreción renal (filtración glomerular y de la síntesis de CIT en los túbulos renales proximales) representa aproximadamente el 1% de la ARG dietética (71).

A continuación, se muestran los principales metabolitos de la ARG (figura 1):

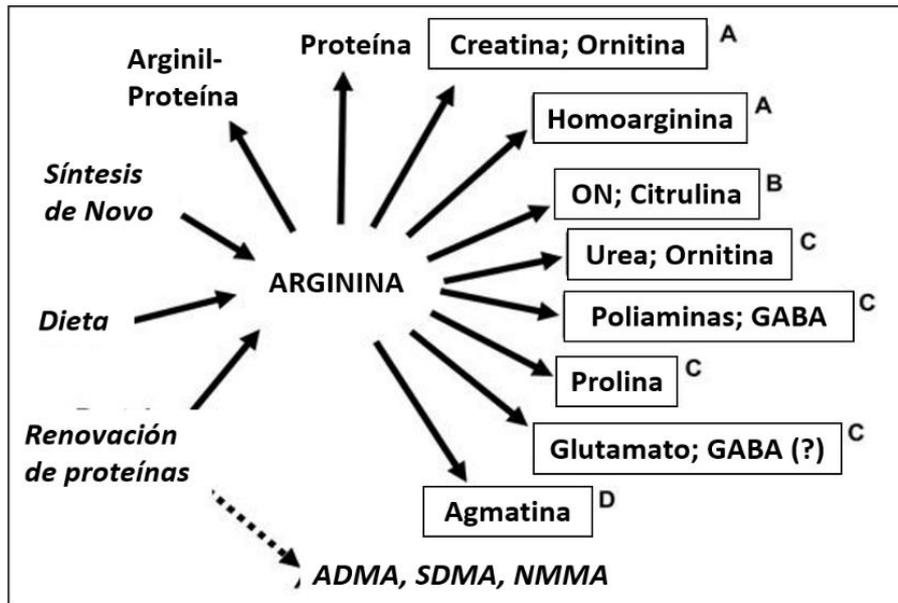


Figura 1. Principales metabolitos de la arginina en mamíferos. Modificado de Morris SM (72).

La ARG es un aminoácido semiesencial cuya biodisponibilidad de la ingesta de fuentes dietéticas (carnes, pescados, lácteos y frutos secos entre otros) es del 60 % (71,73). Esto es debido a que el intestino degrada el 40% de ARG de la dieta (70). Dentro de las distintas fuentes dietéticas, presentan un mayor contenido el zumo de sandía, mariscos, semillas, frutos secos (nueces), carnes, algas, concentrado de proteína de arroz y aislado de proteína de soya (70,74).

Este aminoácido presenta distintas funciones metabólicas, incluida su papel como sustrato esencial de la enzima NOS para la síntesis de NO (siendo esta su principal función en el metabolismo) y como precursor de la creatina (desempeña un papel esencial en el metabolismo energético de los músculos) (75,76). Existen varias isoformas de NOS: a) NOS neuronal (neuronalNOS o tipo I), b) NOS expresado de forma inducible (Inos o tipo II), c) NOS endotelial (eNOS o tipo III). De estas tres isoformas, nNOS y eNOS se expresan en el músculo esquelético desempeñando una función reguladora en mejora de la síntesis de proteínas y en la inhibición de la proteólisis (70,76).

En la figura 2 se muestra el mecanismo de vasodilatación de la ARG.

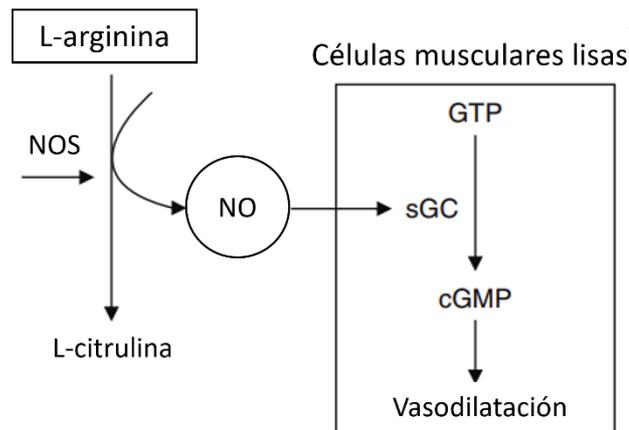


Figura 2. Mecanismo de vasodilatación de la arginina. Modificado de Álvares TS et al., (76).

Cabe indicar que la regulación de ARG va a estar influenciada por una serie de factores (hormonas, citocinas, endotoxinas, creatina y lactato entre otros), entre los que se encuentran ciertos componentes de la dieta como, por ejemplo, el magnesio, los ácidos grasos n-3 y la lisina. Este último requiere una especial consideración puesto que, tal y como apunta Wu et al. en su estudio, la lisina compite con la ARG por entrar en las células e inhibe la actividad de la arginasa. Por lo tanto, la proporción de estos aminoácidos en la dieta es un factor crítico que influye en el efecto de la suplementación con ARG. En condiciones normales de alimentación, la cantidad total de ARG en la dieta no debe ser un 150 % superior a la de lisina (es decir, ARG/lisina <2,5) (70).

En este sentido, se ha demostrado que la suplementación con ARG presenta múltiples beneficios en el ser humano en relación con diferentes patologías (diabetes, enfermedad cardiovascular, y trastornos inmunológicos) hasta la mejora del rendimiento deportivo y composición corporal en atletas (73,77).

El empleo de aquellos suplementos que contienen ARG va encaminado a mejorar la fuerza, la potencia y la recuperación muscular en relación con el ejercicio aeróbico y de resistencia dado su efecto vasodilatador (70,77). La administración oral de ARG dentro del rango fisiológico (95-250 $\mu\text{mol/l}$ en función del estado nutricional y etapa de desarrollo) presenta beneficios al aumentar la síntesis de NO (vía dependiente de NOS) (74), el cual desempeña un rol esencial en la regulación de distintas funciones corporales (la vasodilatación, el flujo sanguíneo, la respiración mitocondrial y la función plaquetaria) (74,75,78). Este aumento de NO en el músculo activo tiende a promover una mayor vasodilatación dando lugar a un empleo mayor y más efectivo de sustratos y la eliminación de productos de desecho (lactato y amoniaco) dando lugar a una mejora de la fuerza, la potencia y la

recuperación muscular; lo que se traduce en una mejora del rendimiento del atleta al mejorar la eficiencia del ejercicio, reduciendo el déficit de oxígeno y el componente lento del VO_2 (74,76,78,79).

En este sentido, son diversas las dosis y protocolos que se han empleado, tanto en los deportes de resistencia o aeróbicos, como en los anaeróbicos. Estos protocolos incluyen tanto la ingesta crónica (< 7 días) como aguda (4-7 semanas) (77).

Según la evidencia disponible, se ha informado de que la ingesta previa al ejercicio (60-90 minutos) de aproximadamente 10-11g (0,15 g/kg) da lugar a una optimización del rendimiento deportivo en deportes aeróbicos y anaeróbicos. Sin embargo, se precisan más estudios que corroboren tales efectos dado que la evidencia disponible es escasa y contradictoria (77).

1. Protocolo agudo (< 1 semana). 6-10 g/día de ARG producen una mejora en valores fisiológicos y una optimización del rendimiento deportivo (retraso en la aparición de la fatiga y mejora de la potencia y capacidad de ejercicio) (77).

2. Protocolo crónico (4-8 semanas). 1,5 a 2 g/día de ARG durante 4 a 7 semanas podría presentar beneficios en el rendimiento aeróbico y dosis de 10 a 12 g/día durante 8 semanas en el rendimiento anaeróbico (77).

En la figura 3 se muestra el metabolismo de la ARG en humanos:

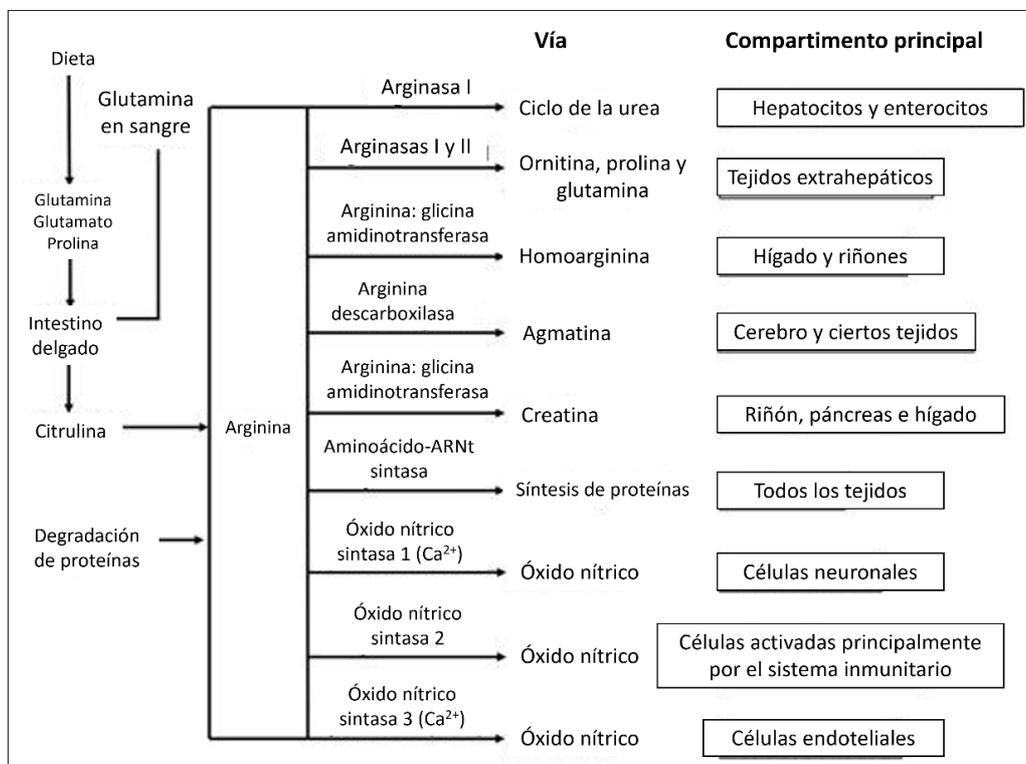


Figura 3. Descripción general del metabolismo de la arginina en humanos. Modificado de Rezaei S et al., (78).

1.8.2. Citrulina

La CIT es un aminoácido neutro no esencial, cuya fuente principal es la sandía. No obstante, este aminoácido también presenta una síntesis endógena en humanos a partir de otros dos aminoácidos precursores (glutamina y ARG) (42,80,81).

La síntesis de CIT se lleva a cabo en los hepatocitos y en los enterocitos, concretamente en las mitocondrias de estas células (80–84). Esta síntesis se controla por la acción de tres enzimas, N-acetilglutamato sintasa (NAGS), carbamoilfosfato sintetasa I (CPS-I), y argininosuccinato sintetasa (ASS) (80,81). El metabolismo de la CIT presenta una distribución tisular; esto es, su metabolismo tiene lugar en el hígado, intestino delgado y riñón, desempeñando distintas funciones (42,80,81).

Hígado

En el hígado OCT sintetiza localmente la CIT y posteriormente es metabolizada por ASS en la producción de la urea. En el hígado, la CIT es un intermediario metabólico implicado en la eliminación de amoníaco a través de la urea. Cabe señalar que el aporte de CIT exógena generalmente no suele ser metabolizada en el hígado (80,81).

Una primera reacción que acontece en las mitocondrias de los hepatocitos y que es catalizada por CPS-I, permite que una molécula de amoníaco se condense en una molécula de bicarbonato. La ornitina carbamoil transferasa (OCT) sintetiza la CIT a partir de ornitina y carbamoil fosfato. Esta última es sintetizada a partir de CPS-I. Sin embargo, CPS-I requiere de un activador, en cuyo caso es N-acetilglutamato (NAG), que es un cofactor sintetizado por NAGS (parece estar localizada únicamente en hepatocitos y enterocitos) (81).

Posteriormente, una segunda reacción catalizada por la ornitina transcarbamoilasa da lugar a la formación de CIT. Una vez sintetizada la CIT se transporta desde la mitocondria al citosol. La síntesis de CIT está controlada por los sistemas de transporte mitocondrial de ornitina y CIT. Por lo que la CIT formada en las mitocondrias se reutiliza inmediatamente (81).

En el citosol, la CIT se une al aspartato para dar argininosuccinato (AS), un precursor de la ARG y la urea. En la transformación de CIT en urea y ornitina están involucradas tres enzimas ASS, la argininosuccinato liasa (ASL) y arginasa. ASS actúa en la unión de CIT al aspartato para dar AS. A continuación, mediante la acción de AS liasa (ASL), AS se convierte en ARG y se libera fumarato. La ARG se metaboliza en ornitina por la arginasa, liberando una molécula de urea. Esta ornitina es metabolizada por la OCT al entrar en la mitocondria, y así continuamente. La molécula de urea sale del hígado y es captada por el riñón para ser eliminada (81).

Intestino delgado

La síntesis de CIT en el intestino se realiza a partir de la glutamina liberada en sangre (a través de OCT) y posteriormente convertida de nuevo en ARG por la ASS en los riñones (80,81).

En los enterocitos, tanto la ARG como la glutamina que provienen de la dieta (una fracción de ambas) se metabolizan en ornitina por la acción de la arginasa en el caso de la primera, y por la glutaminasa y la ornitina aminotransferasa (OAT) en el caso de la segunda. Además, esta ornitina mediante la acción de OCT es metabolizada en CIT (81).

En la figura 4 se muestra el metabolismo de la CIT:

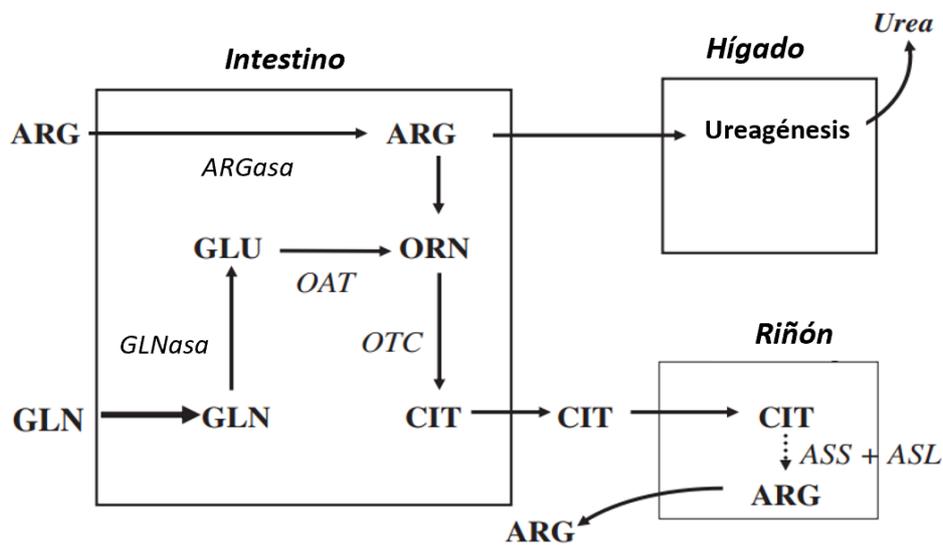


Figura 4. Representación del metabolismo de la citrulina. Modificado de Allerton TD et al., (80).

Otras vías de síntesis de la citrulina

En la mayor parte de aquellos tejidos en los cuales se produce NO se ocasiona un reciclaje de CIT para generar ARG a través de ASS. El propósito es aumentar la disponibilidad de ARG para la producción de NO a partir de eNOS, iNOS y nNOS (80,82–84).

A continuación, se muestra la representación esquemática del ciclo del NO (figura 5):

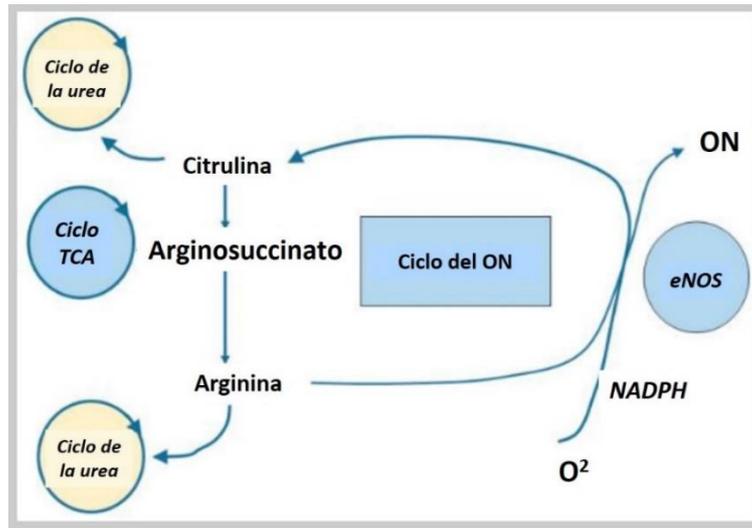


Figura 5. Representación esquemática del ciclo del óxido nítrico. Modificado de Allerton TD et al., (80).

La suplementación oral con CIT es de especial interés, puesto que es más eficaz para incrementar los niveles plasmáticos de ARG y la síntesis y biodisponibilidad de NO, mejorando de esta forma la función vasodilatadora (mejora del flujo sanguíneo) (80,82). Dicho esto, la CIT hoy en día se proyecta como una ayuda ergogénica para la mejora del rendimiento deportivo por su capacidad para fomentar la producción de NO (42,80).

Estudios recientes llevados a cabo en esta investigación apuntan a que la suplementación aguda con CIT tiene como resultado una mejora de los factores fisiológicos (cinética de consumo de VO₂) en triatletas entrenados (42,83). A su vez, se ha demostrado que su ingesta durante un periodo de dos semanas puede mejorar la producción de potencia en el músculo (menor gasto de fosfocreatina (PCr) y otras respuestas metabólicas (mejora del metabolismo oxidativo) (83,84). Además, la CIT podría emplearse como un agente anabólico proteico, ya que estimula la síntesis de proteínas en el músculo esquelético, permitiendo un mayor contenido de proteínas y funcionalidad (42,81,84).

Por otro lado, diversos estudios han mostrado el uso metabólico eficiente de BCAA en los músculos para la obtención de energía y mejorar el ejercicio tras la ingesta previa al ejercicio de CIT (6g dos horas antes del evento) (82,85). En nuestra investigación, esta misma dosis permite una optimización del rendimiento en deportes relacionados con la potencia aeróbica, ya que permite una mayor tolerancia al ejercicio, aumentando el trabajo total (42), puesto que la suplementación previa de CIT puede reducir la percepción subjetiva de fatiga muscular (mayor tiempo hasta el agotamiento) (85,86).

En la figura 6 se muestra el metabolismo interorgánico de ARG-ornitina-CIT:

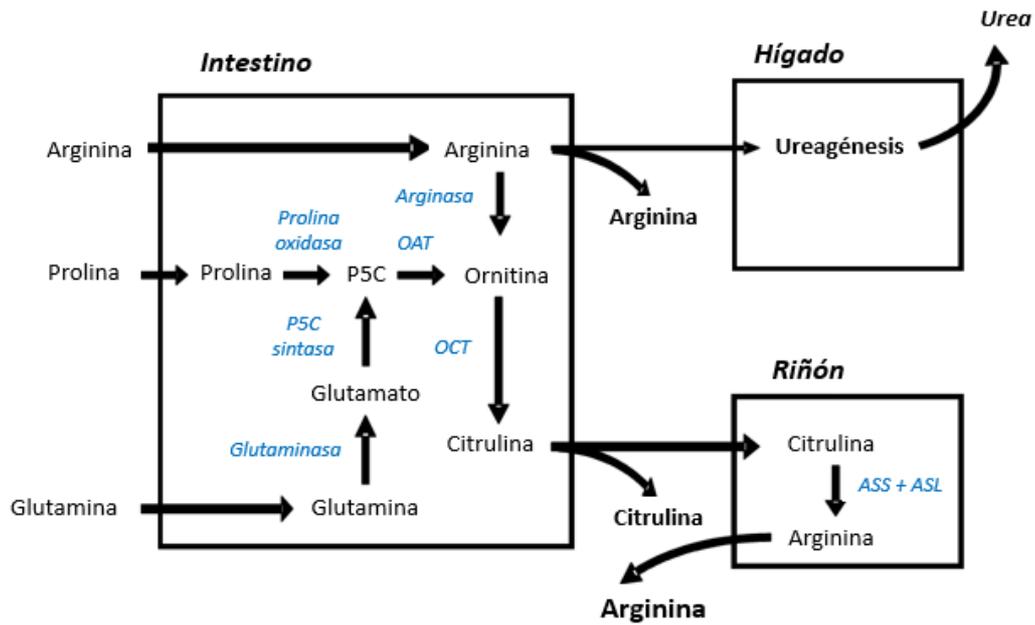


Figura 6. Metabolismo interorgánico de arginina-ornitina-citrulina. Modificado de Breuillard C et al., (81).

Los estudios realizados establecen como dosis mínima efectiva la ingesta de 2,4-3g/día, y como dosis máxima efectiva 10g/día (42,80,85). No se recomienda una ingesta por encima de la dosis máxima, dado que no presentaría mayores beneficios. Ello se debería a que posiblemente se produciría una saturación de sus transportadores dando lugar a una absorción fraccionada y una retención plasmática más baja de CIT. En relación a este punto, la dosis mínima efectiva de CIT (2,4-3g), se puede obtener a partir de la ingesta de 1-1,5 kg/día (80) o, lo que es lo mismo, de 1 litro de zumo natural de sandía (aproximadamente 2,33g de CIT) (83).

Tal y como se puede observar, no es fácil obtener CIT a través de una dieta convencional, debido a que las fuentes dietéticas son escasas y presentan cantidades mínimas. Por lo tanto, su suplementación con el fin de emplearlo como ayuda ergogénica podría ser beneficiosa para maximizar el rendimiento deportivo (82).

1.8.3. Nitratos

Los NO_3^- son compuestos que se encuentran de forma natural en el medio ambiente como resultado del ciclo del nitrógeno. En el ser humano la principal fuente de exposición al nitrato inorgánico proviene de la dieta, concretamente del consumo de verduras (puede contribuir al 60-85 % de la ingesta diaria). Alimentos como el rábano, la lechuga, la remolacha, la espinaca y la rúcula contienen niveles altos de nitrato inorgánico) (87,88).

El nitrato inorgánico (NO_3^-) presente en el BJ sufre distintas reducciones hasta su conversión a NO, al cual se le otorga un papel esencial en distintas funciones hemodinámicas y metabólicas (87–91).

Una vez ingerido, y por la acción de bacterias anaerobias facultativas (*Veinolella*, *Granulicatella adiacens*, *Haemophilus parainfluenzae*, *Actinomyces odontolyticus*, *Actinomyces viscosus*, *Actinomyces oris*, *Prevotella melaninogenica* y *Prevotella salivae*) que se localizan en las criptas de la lengua, tiene lugar una reducción del nitrato para pasar a nitrito (NO_2^-) (estas bacterias realizan aproximadamente entre el 5-7% de la conversión a NO_2^-) (87,88). La saliva cobra un papel esencial en la bioactivación de NO_3^- , puesto que se requiere de enzimas nitrato reductasa presentes en las bacterias comensales de la cavidad oral (87–91).

Es necesario indicar que no todo el nitrato es absorbido, sino que la mayor parte del mismo se excreta a través de la orina. No obstante, aproximadamente el 25% es absorbido activamente por las glándulas salivales y secretado en la saliva, y se concentra entre 10 y 20 veces más en la saliva que en el plasma (87–91).

En el estómago, dado su ambiente ácido, el NO_2^- salival es reducido a ácido nitroso, el cual, a su vez, se descompone para dar lugar a la formación de NO y a otros compuestos derivados del nitrógeno (87–91). A través de la hemoglobina (actúa como una nitrato reductasa regulada alostéricamente), mioglobina, antioxidantes como vitamina C (agente reductor), polifenoles y protones (el NO_2^- no tiene que ser protonado para ser absorbido y tiene una biodisponibilidad de alrededor del 98 %) (87,88).

Indicar que en situaciones en las que la actividad oxígeno-dependiente de la NOS está comprometida, la síntesis de NO está garantizada, ya que la producción por estas vías es mucho mayor durante la hipoxia y la acidosis (87,88). Esto es, en condiciones de hipoxia fisiológica, el nitrato y el NO_2^- restante se absorben desde el intestino hacia la circulación, que puede convertirse en NO bioactivo en los tejidos y la sangre (87–91).

A continuación, se muestra la conversión de NO_3^- en BJ a NO (figura 7):

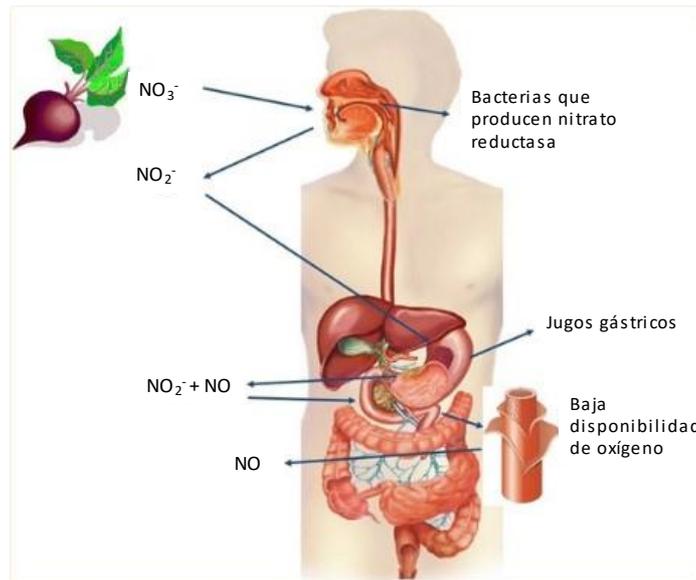


Figura 7. Conversión de nitratos en zumo de remolacha a óxido nítrico. Modificado de Domínguez R et al., (91).

La producción de NO no solo se produce mediante la vía descrita en líneas anteriores, sino que también se produce de forma endógena a partir de la oxidación de ARG a CIT, reacción catalizada por las enzimas NOS. La acidez intracelular también promueve la reducción de NO_2^- a NO (87–90).

Es de mención que NO presenta múltiples beneficios. Esto es, se considera un excelente vasodilatador, puesto que permite aumentar el flujo sanguíneo a nivel muscular y promover la perfusión de oxígeno muscular y el intercambio de gases (87–89). Además, presenta unos beneficios fisiológicos desempeñando un papel importante como inmunomodulador y estimulador de la expresión génica y la biogénesis mitocondrial, además de que mejora la eficiencia mitocondrial y la captación de glucosa en el músculo (90,91).

Sin embargo, la suplementación aguda con esta ayuda ergogénica no está exenta de controversia, ya que podría estar condicionada por distintos factores en relación con el deportista (la dieta, la edad, el estado fisiológico y de entrenamiento), con la modalidad deportiva (tipo deporte de resistencia), entrenamiento (la intensidad, la duración) y condiciones ambientales (89–91). Por lo tanto, serían necesarios más estudios que verifiquen estos beneficios.

La suplementación con BJ se debe realizar con cierta antelación al evento deportivo (aproximadamente 90 minutos antes), puesto que el mayor efecto o pico de NO_3^- se produce a las 2-3 h post-ingesta. Se recomienda como ingesta mínima efectiva 6-8 mmol de NO_3^- . Dicha ingesta podría verse aumentada en atletas élite (90). No obstante, cabe señalar que la evidencia ha demostrado que las concentraciones de nitrato y NO_2^- en plasma aumentan de manera dependiente a la dosis suplementada con nitrato en la dieta (93).

1.9. COMBINACIÓN DE CITRULINA Y NITRATO

Ambos suplementos han sido estudiados en numerosas investigaciones de forma aislada (94,95). Sin embargo, la evidencia científica que combina ambos suplementos es escasa (96) y, según el conocimiento de los autores, no hay ningún estudio actual en atletas de resistencia. Dado que estos suplementos tienen diferentes vías fisiológicas para mejorar el rendimiento y la recuperación, se podría asumir que la combinación de CIT y BRG pudiese tener mayor efecto que tomándolos por separado (96–98). Por ejemplo, algunos autores han demostrado efectos sinérgicos de 2 suplementos deportivos, como es el caso de la beta- alanina y CrM (99,100) o el HMB y CrM (41,101).

Además, hay que añadir que al mezclarse dos ayudas ergogénicas diferentes, puede ser interesante analizar el efecto interactivo entre estas (sinérgico, multiplicativo, antagónico o anulador) para ver el efecto real de cada suplemento y si es efectivo mezclarlas o no (102).

1.10. INTRODUCCIÓN ARTÍCULO 1

Los deportistas suelen recurrir a los suplementos nutricionales para mantener la salud y maximizar el rendimiento atlético (103). Entre ellos, las proteínas y los aminoácidos representan las ayudas ergogénicas más consumidas, con una frecuencia del 35-40% (104). Sin embargo, el uso de suplementos nutricionales con función vasodilatadora está aumentando considerablemente en el ámbito deportivo, dado que existen fuertes evidencias de que su ingesta tiene un efecto positivo sobre el rendimiento atlético (105–107). En este sentido, aunque el nitrato y el BJ son los suplementos vasodilatadores más estudiados en este campo (90,108), la ARG es un aminoácido que ha demostrado un efecto vasodilatador porque participa en la síntesis y biodisponibilidad del óxido nítrico (ON) (72,106). Por esta razón, la suplementación con ARG ha sido utilizada por los atletas para obtener mejoras en el rendimiento atlético (73,109–111).

Aunque la ARG es un aminoácido no esencial para los adultos porque se absorbe a través de las proteínas de la dieta (112) y se sintetiza en el intestino delgado a partir de la prolina, el glutamato y la glutamina (55,72), algunas investigaciones han demostrado que su suplementación podría ser beneficiosa para aumentar el rendimiento atlético (113). El beneficio más relevante de la ARG está relacionado con la síntesis de NO y su papel como molécula de señalización celular con efectos fisiológicos relevantes (114). El NO ha demostrado aumentar el flujo sanguíneo y mejorar la contracción muscular, el intercambio de gases, la cinética del oxígeno y la biogénesis mitocondrial (90,115). Por otra parte, también se ha demostrado que la ARG estimula la liberación de GH (116,117), que ayuda a promover el crecimiento celular y a regular la movilización de combustibles en el cuerpo que contribuyen a aumentar la MM y la hipertrofia (118–120). Además, la suplementación con ARG ha presentado una reducción de los niveles de amoníaco, lactato, ácidos grasos y oxidación de grasas después del ejercicio (121,122). Asimismo, la ARG ha mostrado un aumento del glicerol después del ejercicio, con una mejora de la oxidación de los CHO y de la eficiencia del oxígeno (123,124), considerando estos beneficios potenciales en el rendimiento deportivo de resistencia. Así pues, la ARG ha mostrado efectos en diferentes vías fisiológicas y metabólicas que podrían mejorar el rendimiento atlético tanto en resistencia o "aeróbico" como en rendimiento atlético de alta intensidad o "anaeróbico" (113).

El rendimiento atlético en los deportes de resistencia, en los que los esfuerzos suelen durar 5 minutos o más y requieren una intensidad igual y/o menor que el $VO_{2máx}$, está relacionado con la capacidad de los sistemas circulatorio y respiratorio para suministrar combustible y resintetizar ATP mediante el metabolismo oxidativo (125,126). Por lo tanto, el rendimiento de la resistencia está determinado por el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$), los umbrales ventilatorios y la eficiencia

o economía energética (126,127). En este sentido, se ha demostrado que diferentes protocolos de suplementación con ARG (<7 días o aguda) y dosis (6-10 g/día) mejoran varios parámetros fisiológicos y resultados de rendimiento, como el tiempo hasta el agotamiento, la potencia media de salida y la capacidad de ejercicio en intensidades moderadas-submáximas (109,110,128). Estos resultados podrían explicarse únicamente por las mejoras en el flujo sanguíneo y el suministro de oxígeno a los músculos, ya que parece que se necesitan periodos de suplementación más largos para mejorar la respiración mitocondrial y la fosforilación oxidativa a través de la vía del NO (90). Sin embargo, otros estudios no mostraron ninguna mejora en el tiempo total de carrera de 5 km ni en el rendimiento de la prueba incremental del cicloergómetro en corredores experimentados y hombres con actividad recreativa, respectivamente (83,98).

Por otro lado, el rendimiento en deportes de alta intensidad o anaeróbicos requiere una intensidad mayor que el $VO_{2\text{máx}}$ y depende de diferentes vías metabólicas relacionadas con la duración del ejercicio (129). En este sentido, mientras que el sistema de fosfágeno de alta energía (<6 s de duración) es determinante para las disciplinas explosivas, la glucólisis representa la principal vía energética para los ejercicios entre 1-5 min (con una mayor contribución de la fosforilación oxidativa proporcionalmente con el tiempo), determinados como esfuerzos de alta intensidad (~1 min) e intensos (<5 min) (129–132). En lo que respecta al rendimiento anaeróbico, la suplementación crónica de ARG (45-56 días) con dosis bajas (2 g/día) y altas (12 g/día) podría llevar a mejorar el rendimiento en el press de banca de una repetición máxima (1RM), el test de Wingate y el test de intensidad de $VO_{2\text{máx}}$ (73,118). Estos efectos positivos relacionados con la fuerza podrían explicarse porque la ARG mejora la hormona liberadora de GH, suprime la hormona endógena inhibidora de GH y aumenta el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1) (133,134). Además, la ARG desempeña un papel esencial en la síntesis de la creatina, principal sustrato del sistema de fosfágenos y del rendimiento anaeróbico (135). Sin embargo, otros autores no encontraron beneficios en la fuerza muscular, el número máximo de repeticiones y la potencia de sprint tras la ingesta de 6 g/día de ARG en protocolos agudos y crónicos (136–138).

Aunque la suplementación con ARG podría ser eficaz en el rendimiento aeróbico y en las disciplinas deportivas de alta intensidad mediada por varios efectos, la evidencia actual es controvertida y confusa. En este sentido, existen algunas revisiones sistemáticas que analizan los efectos de la suplementación con ARG sobre diferentes mecanismos fisiológicos y metabólicos en adultos mayores y pacientes con enfermedades (139,140). Además, una breve revisión sistemática examinó la conexión entre la ARG y la CIT y el rendimiento deportivo (113). Sin embargo, según el conocimiento de los autores, no existe en la literatura información analizada de forma clara y

cuantitativa ni distinción de los diferentes efectos implicados en las capacidades de rendimiento tanto aeróbicas como anaeróbicas, lo que puede ser necesario para comprender mejor las razones y protocolos de suplementación con ARG. Por lo tanto, nos propusimos llevar a cabo una revisión sistemática y un metaanálisis sobre los efectos de la suplementación con ARG en el rendimiento del ejercicio según el principal sistema de metabolismo energético utilizado durante el ejercicio, con el objetivo principal de analizar la evidencia actual y evaluar su impacto en el rendimiento en ambas disciplinas, aeróbica y de alta intensidad o anaeróbica. Además, este manuscrito pretende mostrar las dosis efectivas y el momento ideal de su ingesta.

1.11. INTRODUCCIÓN ARTÍCULO 2

El triatlón es una prueba que combina las disciplinas de natación, ciclismo y carrera a pie en este orden secuencial (2,141). Aunque las distancias varían, todos los triatlones pueden considerarse como pruebas en las que predomina la potencia aeróbica, ya que se consideran relevantes los parámetros fisiológicos asociados al entrenamiento de resistencia; consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$), umbral anaeróbico/ventilatorio y economía de movimiento, entre otros (142,143). Además, el rendimiento de la fuerza juega un papel fundamental, ya que es una modalidad deportiva en la que se desarrolla tensión contra cargas durante la contracción (144). La alta exigencia física de este deporte hace que las recomendaciones nutricionales sean insuficientes, por lo que los triatletas recurren a los suplementos nutricionales para mejorar su rendimiento deportivo (107). Entre ellos, cada vez hay más evidencias científicas de los beneficios que los precursores del óxido nítrico (NO) (la CIT y los suplementos ricos en NO_3^-) como el BJ o el BR aportan al rendimiento deportivo, ya que estas ayudas ergogénicas podrían mejorar tanto el metabolismo aeróbico como el anaeróbico (30). En particular, el NO está implicado, entre otros factores, en la regulación del flujo sanguíneo, la contractilidad muscular y la respiración mitocondrial (114). Concretamente, el NO se sintetiza por oxidación del aminoácido ARG, que procede de la CIT, o por reducción del NO_3^- a NO_2^- (77).

Por un lado, la CIT es un aminoácido no esencial que se encuentra principalmente en la sandía, pero también puede producirse de forma endógena mediante la síntesis a partir de la glutamina y la ARG en la vía de conversión del NO (145). Además, se ha demostrado que la capacidad de la CIT para amortiguar la acidosis, la hiperamonemia y la acumulación de lactato en sangre proporciona beneficios en el rendimiento de los atletas que realizan sesiones de entrenamiento que implican potencia aeróbica o rendimiento de fuerza (146). Concretamente, la suplementación con 6 g/día de CIT durante 7 días parece aumentar la tolerancia al ejercicio y el trabajo total en el rendimiento de potencia aeróbica (147). Además, la suplementación con 2,4 g/día de CIT aumentó la cinética de captación de VO_2 durante las pruebas de resistencia tras 7 días de suplementación (82). Esta dosis redujo significativamente el tiempo necesario para completar una contrarreloj de 4 km (82) y mejoró el volumen de entrenamiento al aumentar la tolerancia a la fatiga (148). Por otro lado, se ha demostrado que la CIT puede estimular la Vía de la Rapamicina de los mamíferos (mTOR), independientemente de la insulina, la hormona de crecimiento (GH) o el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-1), mejorando la MPS (149). En este sentido, la CIT ha demostrado mejoras en los niveles de fuerza muscular isométrica (150). En la misma línea, una dosis única de suplemento de CIT (8 g) antes del ejercicio mejoró el número de repeticiones de press de banca realizadas al 80% en 1RM (40). También produce una reducción significativa de la sensación de fatiga al aumentar la

tasa de ATP durante el ejercicio y la tasa de recuperación de la PCr después del ejercicio (151). Estos mecanismos hacen que la CIT se presente como una ayuda potencial en la mejora del rendimiento aeróbico y de fuerza.

Por otro lado, los deportistas se abastecen de suplementos de NO_3^- de la remolacha, como el BJ o BR, para mejorar su rendimiento aeróbico (152,153). Una posible explicación de este efecto ergogénico del NO_3^- puede ser un aumento del NO que incrementa el flujo sanguíneo en el músculo durante el ejercicio (154,155). En este sentido, la suplementación con 0,5 L de zumo 2 h antes del ejercicio parece mejorar la potencia aeróbica en pruebas aeróbicas submáximas, optimizando el tiempo total en una prueba en ciclistas entrenados (156). Sin embargo, 210 mL de zumo (19,5 mmol~1,1 g de NO_3^-) tanto durante un día (agudo) como durante 8 días (crónico) antes de completar una carrera submáxima en cinta rodante y una contrarreloj de 1500 m (potencia aeróbica) no redujeron el VO_2 ni la contrarreloj en un grupo de corredores de distancia de élite (157). Por otra parte, el NO_3^- podría desempeñar un papel clave en los ejercicios anaeróbicos, la fuerza máxima o el rendimiento de resistencia-fuerza (158,159). Además, las características contráctiles del músculo humano mejoran con el NO_3^- dietético (115). Este efecto podría atribuirse a la nitrosilación del receptor de rianodina y a la mejora de la señalización del NO a través de la vía de la guanil ciclasa soluble-guanosina monofosfato cíclico-proteína quinasa G, que aumentan la concentración de Ca^{2+} intracelular libre y la sensibilidad del miofilamento al Ca^{2+} (160,161). Por ello, Nyakayiru et al. informaron de que la suplementación con 140 mL de zumo de BR 2,5 h antes del ejercicio mejoraba la producción de fuerza isométrica (93). Además, otros estudios presentaron resultados positivos en la consecución de un mayor número de repeticiones de press de banca al ingerir una bebida (400 mg de NO_3^-) durante 6 días (159). En este sentido, la suplementación con BR puede mejorar la eficiencia mitocondrial (162) y/o reducir el costo de ATP tanto en la producción de fuerza máxima como en la producción de fuerza de resistencia (163).

Por lo tanto, estos dos suplementos (CIT y BR) se han estudiado ampliamente de forma individual, mostrando mejoras cuando se complementan de forma aguda (30-60 minutos antes del ejercicio) o a corto plazo (de 7 días a 4 semanas) (164–166). Sin embargo, una posible combinación de ambos a largo plazo (9 semanas), podría mejorar aún más el rendimiento que la CIT o el BR por separado. En esta línea, nuestro grupo de investigación informó que 10 semanas de CrM con co-suplementación oral de HMB mostró un efecto sinérgico al aumentar el rendimiento atlético, disminuir el EIMD y regular los comportamientos hormonales, en comparación con el momento en que se tomaron de forma aislada (41,101). Esto podría ser beneficioso para los ajustes metabólicos/fisiológicos posteriores al ejercicio. En este sentido, según el conocimiento de los

autores, solo un estudio ha analizado los posibles beneficios de la combinación aguda de CIT más BR en adultos mayores sanos (96). En esta investigación, la suplementación de 6 g de CIT más 520 mg de NO_3^- 6 h antes de una prueba de ciclismo incremental submáxima mostró mejoras en algunas variables cardiorrespiratorias, como el VO_2 , pero no presentó un efecto positivo en el rendimiento del ejercicio de extensión de la rodilla (96). Además, el ejercicio puede afectar a la biodisponibilidad del NO debido tanto a la disminución de la actividad del NO como a la falta de sustrato de NO (167).

De este modo, se puede hipotetizar que la síntesis de NO se utilizaría independientemente por ambas vías (BR y CIT). Además, la suplementación a largo plazo con una dosis más pequeña podría mantener los niveles de NO elevados durante periodos más largos, optimizando los niveles endógenos de NO_3^- endógeno (155,168). Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio fue determinar los efectos de la co-suplementación oral a largo plazo (9 semanas) con 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) sobre la fuerza máxima mediante HJUMP y el test de dinamometría de agarre de la mano (DYN), el rendimiento de fuerza-resistencia mediante la prueba abdominal de 1-MAT y la potencia aeróbica mediante el CP en triatletas masculinos entrenados.

1.12. INTRODUCCIÓN ARTÍCULO 3

El ejercicio prolongado y extenuante produce un estrés orgánico (169) que podría disminuir el rendimiento deportivo (63,101,170). Como consecuencia de este estado, se producen diversas alteraciones en los parámetros bioquímicos del EIMD (171), así como alteraciones hormonales anabólicas/catabólicas que podrían dificultar las adaptaciones endógenas al ejercicio (172). Por lo tanto, además de un programa de entrenamiento adecuado, podría ser esencial incluir diferentes estrategias para retrasar o reducir la fatiga muscular y mejorar la adaptación al entrenamiento (65). En este sentido, se ha propuesto la suplementación con BR y CIT, ricos en NO_3^- , para lograr estos objetivos, en parte porque son NO (162,173–175).

El NO produce vasodilatación aumentando el nivel sanguíneo en los músculos y mejorando su eficacia en los procesos de contracción y relajación muscular (176). Además, el NO regula la generación de fuerza y la activación de las células satélite (177). A largo plazo, el NO puede regular la función muscular e incluso afectar a la recuperación del músculo esquelético debido a su efecto antioxidante y al aumento constante del flujo sanguíneo muscular que, junto con un suministro adecuado de aminoácidos esenciales, permitiría una mejor alimentación del músculo (178) y podría prevenir el EIMD (179,180). Además, la disminución del flujo sanguíneo a los testículos podría reducir la síntesis de testosterona (181). También se ha demostrado en modelos animales que el aumento del NO provocaba una reducción significativa de la producción de cortisol mediada por la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) (182). En consecuencia, aunque este mecanismo es especulativo, el aumento del NO podría mejorar el flujo sanguíneo en los testículos y promover la síntesis de testosterona por efecto vasodilatador (178,183) y podría tener éxito en el mantenimiento de un estado anabólico, disminuyendo el daño muscular y el estrés metabólico (101,173).

Por un lado, la suplementación con BR es ampliamente utilizada por los atletas como precursor del NO (184). Cuando los atletas digieren el BR, sus NO_3^- se transforman en NO_2^- que se reducen parcialmente a NO por la acción de los ácidos del estómago y se absorben posteriormente en el intestino y pasan al torrente sanguíneo (185). Además, la RB es rica en otros compuestos como ácidos fenólicos, flavonoides, carotenoides y betalaínas, que tienen efectos antioxidantes (186). Por lo tanto, aunque no están claros los mecanismos de las posibles mejoras en la recuperación muscular tras la administración de suplementos de NO_3^- , cabría esperar que la administración de suplementos de BR a largo plazo pudiera atenuar el EIMD tras un ejercicio prolongado y extenuante (186,187) basándose en los efectos del NO y de los compuestos adicionales. Además, la suplementación con BR a largo plazo podría ser muy beneficiosa para el mantenimiento de las hormonas anabólicas/catabólicas,

como demostraron Sarfaraz et al. en los niveles de testosterona (188). Sin embargo, la suplementación con BR a corto plazo (como máximo durante 3 días) no ha presentado una mejora del EIMD y del estado anabólico/catabólico después de una sesión perjudicial de ejercicio excéntrico (187) o de entrenamientos de alta intensidad (189), lo que abre la necesidad de seguir investigando.

Por otra parte, la CIT, un aminoácido no esencial que se encuentra principalmente en la sandía y que se produce de forma endógena reciclándose en ARG y NO a través de la argininosuccinato sintetasa, aumenta la disponibilidad de NO y sus efectos (190). Además, la CIT es un elemento esencial del ciclo de la urea en el hígado (191). Por lo tanto, se ha sugerido que la suplementación con CIT puede eliminar el amoníaco mediante la producción de urea (192). Del mismo modo, la CIT es un importante activador de la síntesis de proteínas musculares en situaciones catabólicas a través de la activación de la vía mTOR debido a su papel clave en la regulación de la homeostasis del nitrógeno (94). En base a estos mecanismos, la suplementación con CIT puede favorecer el rendimiento y la recuperación muscular de distintas maneras, como la activación de la síntesis de proteínas musculares, la mejora de la distribución de oxígeno al músculo, el aumento de la producción oxidativa de ATP durante el ejercicio y de PCr durante la recuperación del ejercicio, y la disminución de la producción de lactato y amonio en sangre (145,146,178), lo que podría reducir la fatiga y limitar el EIMD. Sin embargo, aunque esta propuesta sería adecuada para los atletas, según el conocimiento de los autores, hay poca investigación sobre la suplementación con CIT en la recuperación muscular. En este sentido, Da Silva et al. (191) no observaron mejoras en los resultados funcionales (es decir, el número de repeticiones máximas, el dolor muscular y el esfuerzo percibido), metabólicos (la CK y el lactato), anabólicos (la relación testosterona y testosterona/cortisol (T/C)) y fisiológicos (señal electromiográfica) de la recuperación muscular en varones adultos jóvenes no entrenados después de la suplementación con CIT con 6 g 60 min antes de la sesión de entrenamiento. Estos resultados de la suplementación con CIT y BR sobre el EIMD y las hormonas anabólicas/catabólicas pueden deberse probablemente al hecho de que los efectos solo se han investigado a corto plazo (192) y bajo ingestas aisladas (94,95), lo que sugiere la necesidad de investigar los efectos de la combinación a largo plazo de estas dos ayudas ergogénicas. A este respecto, se ha demostrado que los efectos de algunos suplementos pueden ser sinérgicos cuando se combinan a largo plazo (41,101). Por lo tanto, se podría considerar que los efectos combinados de la CIT (precursora del ON y activador de la síntesis de proteínas musculares) y el BR (precursor del ON y efecto antioxidante) podrían reducir el EIMD y mejorar la recuperación muscular observada por el perfil hormonal anabólico/catabólico (97,98). Esto podría favorecer algunas variables del rendimiento deportivo [36]. En este sentido, la suplementación de 6 g de CIT más 520 mg de NO_3^- 6 h antes de la prueba incremental submáxima de ciclismo ha mostrado mejoras en algunas variables cardiorrespiratorias, como el VO_2 (96).

Por consiguiente, el objetivo principal de esta investigación fue evaluar el efecto a largo plazo (9 semanas) de la mezcla de suplementación de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) sobre el estado de recuperación, la distancia recorrida en el CP, los marcadores EIMD (urea, creatinina, AST, ALT, GGT, LDH y CK) y las hormonas anabólicas/catabólicas (testosterona, cortisol y T/C) en triatletas masculinos entrenados. La hipótesis era que la combinación de CIT más BR podría limitar el EIMD y mejorar la recuperación endógena observada en un menor cortisol y mejor testosterona y T/C que la suplementación aislada de CIT o BR.

2. OBJETIVOS



“El éxito en la vida no se mide por lo que logras, sino por los obstáculos que superas”

La suplementación deportiva ha demostrado ser de gran importancia en el ámbito deportivo, ya que puede dar un plus en la mejora del rendimiento y/o recuperación. El efecto producido es dependiente de la sustancia y dosis tomada, ya que no todas producen el mismo efecto. El Instituto Australiano del Deporte tiene una clasificación de estas ayudas ergogénicas clasificándolas según la evidencia científica de cada una [63].

A pesar de que algunos suplementos tienen alta evidencia en la mejora del rendimiento, hay que interpretar en qué deportes pueden ser efectivos y en cuáles no tendría un efecto positivo la ingesta de estos. Por ello, los profesionales del deporte tienen que tomar la decisión de qué suplementos utilizar.

En este sentido, dos de los suplementos populares son el BR y la CIT. Es habitual que deportistas tomen estos suplementos con la intención de mejorar el rendimiento, aunque hay pocos estudios al respecto. Concretamente, estas dos ayudas ergogénicas son recomendadas para la mejora del rendimiento en el triatlón, que es un deporte de predominancia aeróbica. Sin embargo, a pesar de que estos dos suplementos se recomiendan tomar conjuntamente en este deporte, todavía no hay ningún estudio que muestre los efectos de la mezcla de ambos. Además, sería interesante analizar, por un lado, cómo afecta esta combinación a marcadores de rendimiento y de recuperación, y por otro, calcular el efecto de potenciación de la mezcla en un periodo de suplementación a largo plazo.

Por lo tanto, esta tesis doctoral se centra en tres objetivos principales:

1) Determinar mediante una revisión sistemática con metaanálisis la eficacia de una ayuda ergogénica relacionada con el NO como es la ARG en el rendimiento aeróbico ($VO_{2máx}$) y anaeróbico ($>VO_{2máx}$). Asimismo, mostrar la dosis efectiva y el momento de administración.

2) Determinar el efecto de 9 semanas de suplementación de CIT más BR sobre el rendimiento de fuerza-resistencia máxima y la potencia aeróbica en triatletas masculinos.

3) Evaluar el efecto de la mezcla a largo plazo (9 semanas) de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) en la recuperación por la distancia recorrida en el CP, los marcadores EIMD (urea, creatinina, AST, ALT, GGT, LDH y CK) y las hormonas anabólicas/catabólicas (testosterona, cortisol y la relación testosterona/cortisol (T/C)) en triatletas masculinos entrenados.

2.1. MATERIAL Y MÉTODOS ARTÍCULO 1

2.1.1. Estrategia de búsqueda de la literatura

Esta revisión sistemática y metaanálisis se realizó de acuerdo con las directrices de la declaración PRISMA® (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (193) y el modelo PICOS para la definición de los criterios de inclusión: P (Población): "atletas", I (Intervención): "impacto de la suplementación con ARG en el rendimiento deportivo", C (Comparadores): "mismas condiciones con control o placebo", O (Resultado): "rendimiento deportivo", y S (Diseño del estudio): "ensayo clínico" (194). Se realizó una búsqueda sistemática de la literatura científica para investigar el efecto de la suplementación con ARG en el rendimiento deportivo. Los estudios se encontraron mediante búsquedas en WOS, PubMed / MEDLINE y Scopus desde el inicio hasta el 23 de enero de 2020, utilizando la siguiente ecuación de búsqueda booleana: "L-Arginine"[All Fields] OR "arginine"[All Fields] OR "AAKG" [All Fields] OR "arginine alpha-ketoglutarate" [All Fields] AND supplementation [All Fields] AND (("sports"[MeSH Terms] OR "sports" [All Fields] OR "sport"[All Fields]) OR ("exercise"[MeSH Terms] OR "exercise"[All Fields])) AND ("endurance"[All Fields] OR "performance" [All Fields] OR "aerobic" [All Fields] OR "anaerobic" [All Fields] OR "strength" [All Fields]). Sobre esta ecuación de búsqueda, se incluyeron otros artículos en este campo mediante la estrategia de bola de nieve. Para identificar los duplicados y cualquier estudio potencialmente ausente, se cruzaron todos los títulos y resúmenes de la búsqueda. Los resúmenes y los títulos se examinaron para una posterior revisión del texto completo.

2.1.2. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión aplicados en esta revisión sistemática y metaanálisis a los estudios de elección fueron (1) experimentos bien diseñados que incluyeran la suplementación con ARG; (2) condición experimental idéntica en el grupo PL o de control; (3) comprobación de los efectos de la suplementación con ARG en el rendimiento deportivo; (4) ensayo clínico; (5) información clara sobre la administración del suplemento de ARG (momento y dosis); (6) publicado en cualquier idioma; (7) información clara sobre las fuentes de financiación; y (8) ausencia de conflicto de intereses. Por otro lado, se utilizaron estos criterios de exclusión en relación con los procedimientos experimentales de la investigación: (1) la suplementación con ARG se mezclaba con otros suplementos o era un compuesto de múltiples ingredientes; y (2) los participantes tenían una lesión previa o problemas de salud. No se aplicaron filtros al nivel atlético, la edad, el sexo o la etnia de los atletas para aumentar la potencia analítica del análisis.

2.1.3. Selección de estudios

Dos autores, de forma independiente, revisaron y acordaron la elegibilidad de los estudios seleccionados. Asimismo, una vez aplicados los criterios de inclusión/exclusión a cada estudio, dos autores extrajeron de forma independiente los datos sobre la fuente del estudio (incluidos los autores y el año de publicación), el tamaño de la muestra, las características de los participantes (nivel, raza y sexo), la administración de los suplementos (dosis y horario) y los resultados finales de las intervenciones, utilizando una hoja de cálculo (Microsoft Inc, Seattle, WA, EE.UU.). A continuación, los posibles desacuerdos se resolvieron mediante discusión hasta llegar a un consenso, o mediante la adjudicación de un tercero. En este sentido, el coeficiente kappa de Cohen, que indica la fiabilidad entre evaluadores, entre los autores fue superior a 90 con un nivel de acuerdo "casi perfecto" (195).

2.1.4. Medidas de resultado

Se examinó la bibliografía sobre los efectos de la suplementación con ARG en el rendimiento deportivo utilizando variables de resultado del rendimiento atlético clasificadas según la duración de las pruebas utilizadas. Dado que la prueba de 5 minutos parece ser fiable para determinar la velocidad aeróbica máxima y, por tanto, el tiempo que un sujeto puede mantener la intensidad más baja a la que se alcanzó el $VO_{2m\acute{a}x}$ (196)(197), los autores establecieron este criterio para ordenar las variables de resultados de rendimiento analizadas en $\leq VO_{2m\acute{a}x}$ y $>VO_{2m\acute{a}x}$. Dos estudios cumplían ambos criterios y, por tanto, se incluyeron en ambos análisis de rendimiento. Concretamente, los resultados obtenidos por el Test de Capacidad de Sprint Repetido (RSAT), los ejercicios de fuerza como la flexión isocinética, la extensión isocinética y el press de banca, el test de 1 minuto de salida, la prueba contrarreloj de 1 km (TT) y el Test de Wingate se incluyeron en $>VO_{2m\acute{a}x}$. Por otro lado, los resultados obtenidos por la prueba incremental hasta el agotamiento, 2×5 km TT, prueba de 60 min al 80% del umbral ventilatorio (VT), una TT de 16,1 km y 2×6 min de carrera seguida de una prueba de carrera hasta el agotamiento. La prueba de paso de Harvard para medir la capacidad de $VO_{2m\acute{a}x}$ se incluyó en $\leq VO_{2m\acute{a}x}$. Para el análisis estadístico se extrajeron los tamaños de las muestras, las medias y las desviaciones estándar de los diferentes resultados estudiados tanto en el grupo suplementado con ARG como en el grupo control y en el pre y post tratamiento. Cuando no se disponía de datos numéricos, se solicitaba a los autores, o si los datos se representaban en forma de figuras, los valores se estimaban en base al recuento de píxeles utilizando imágenes calibradas en el software ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA).

2.1.5. Sesgo de publicación

El sesgo de publicación se evaluó mediante la prueba estadística de Egger, en la que se consideró que el sesgo estaba presente con una $p = <0,05$ (198). Se crearon los correspondientes gráficos de embudo para su interpretación visual, seguidos de una estadística de Egger para confirmar o refutar el sesgo de publicación (Figura 9). Los análisis de Egger sugieren que el sesgo de publicación no presentó hallazgos en el rendimiento anaeróbico ($z = 0,786$; $p = 0,432$). Sin embargo, el gráfico de embudo mostró un sesgo de publicación en los datos de rendimiento aeróbico ($z = 2.873$; $p <0.05$).

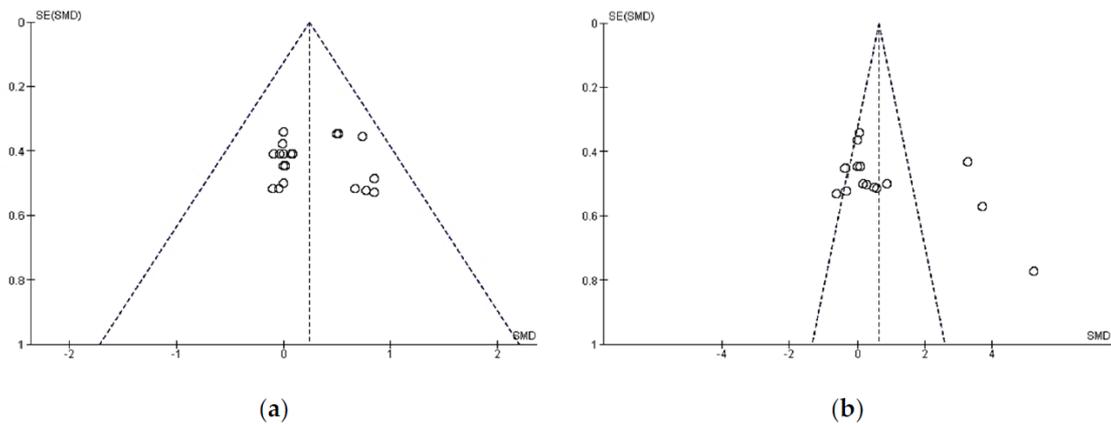


Figura 9. Gráfico de embudo del error estándar de los datos de rendimiento anaeróbico (a) y aeróbico; (b) por la g de Hedges. SE: error estándar; DME: diferencia media estandarizada.

2.1.6. Evaluación de la calidad de los experimentos

De acuerdo con las Directrices de la Colaboración Cochrane [50], la calidad metodológica y el riesgo de sesgo fueron evaluados por dos autores de forma independiente, y los desacuerdos se resolvieron mediante discusión y/o un tercer autor (199). La fiabilidad entre evaluadores (kappa de Cohen) fue de 90, con un nivel de acuerdo "casi perfecto" (195). La lista se separó en seis dominios diferentes: sesgo de selección (generación de la secuencia aleatoria, ocultación de la asignación); sesgo de realización (cegamiento de los participantes y de los investigadores); sesgo de detección (cegamiento de la evaluación de los resultados); sesgo de deserción (datos de los resultados incompletos); sesgo de notificación (notificación selectiva); y otros tipos de sesgo. Los dominios se consideraron como 'bajo' si los criterios presentaban un bajo riesgo de sesgo (sesgo probable que no altere seriamente los resultados), 'alto' si los criterios presentaban un alto riesgo de sesgo (sesgo probable que debilite seriamente la confianza en los resultados), o 'poco claro' si el riesgo de sesgo era desconocido (sesgo plausible que plantea algunas dudas sobre los resultados).

En las Figuras 10 y 11 se presentan los detalles completos de cada artículo y de los dominios.

	Generación de la secuencia aleatoria (Sesgo de selección)	Ocultación de la asignación (Sesgo de selección)	Cegamiento de los participantes y de los investigadores (sesgo de realización)	Cegamiento de la evaluación de los resultados (Sesgo de detección)	Datos de los resultados incompletos (sesgo de deserción)	Notificación selectiva (sesgo de notificación)	Otros tipos de sesgo
Abel y col., 2005	+	?	+	+	+	+	-
Alvares y col., 2012	+	?	+	+	-	+	+
Alvares y col., 2014	-	?	+	+	-	+	+
Batley y col., 2015	-	?	+	+	-	+	-
Bisrol y col., 2019	+	?	+	+	+	+	+
Camic y col., 2010	+	?	+	+	+	-	-
Campbell y col., 2006	+	?	+	+	+	+	+
Da silva y col., 2014	+	?	+	-	+	+	+
Forbes y col., 2013	+	?	+	+	-	-	+
Greer y Jones, 2011	-	-	+	+	-	+	-
Hurst y col., 2014	+	?	+	+	+	+	+
Liu y col., 2009	+	?	+	-	+	+	+
Metrelles y Matsuura, 2015	-	-	+	+	-	+	+
Mor y col., 2018	+	?	+	-	+	+	-
Olek y col., 2010	+	?	+	+	-	-	+
Pahlavani y col., 2017	+	?	+	+	+	+	+
Vanhatalo y col., 2013	+	?	+	+	+	+	+
Yavuz y col., 2014	+	?	+	-	+	+	+

Figura 10. Resumen del riesgo de sesgo: juicios de los autores sobre cada elemento de riesgo de sesgo para todos los estudios incluidos. + indica un bajo riesgo de sesgo; ? indica un riesgo de sesgo desconocido; - indica un alto riesgo de sesgo.

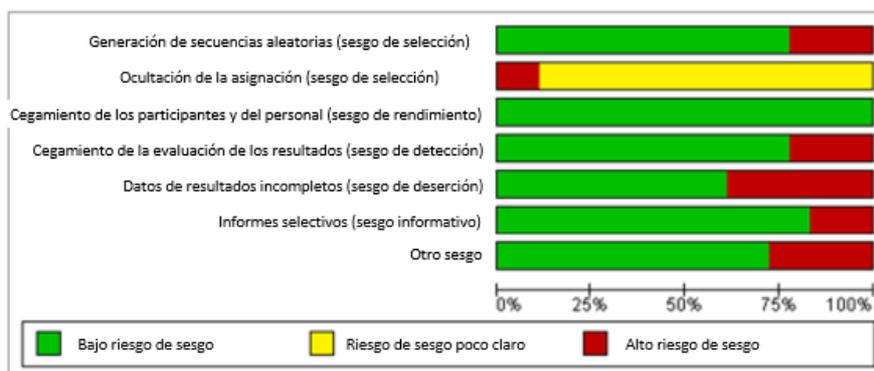


Figura 11. Gráfico de riesgo de sesgo: juicios de los autores sobre cada elemento de riesgo de sesgo presentado como porcentajes en todos los estudios incluidos.

2.1.7. Análisis estadístico

Los datos de las características de los participantes se presentan como media \pm desviación estándar o media \pm error estándar de la media. Se utilizó la versión 5.3 del Review Manager (Revman) (Copenhague: The Nordic Cochrane Center, The Cochrane Collaboration, 2014) para evaluar la calidad de los experimentos e interpretarlos en cifras de riesgo de sesgo. Se utilizó el mismo software para realizar análisis descriptivos y estadísticas metanalíticas. Para comparar la ingesta de ARG frente a la de PL, se presentó para cada ensayo el número de participantes, la DME y el error estándar de la DME. Se utilizó la g de Hedges (200) para calcular la DME de cada grupo del estudio. Se calculó un efecto global y su intervalo de confianza (IC) del 95% ponderando la DME por la inversa de la varianza. Además, se restó la DME del grupo de control y del grupo experimental para obtener el efecto neto del tratamiento y se utilizó la DE agrupada de las puntuaciones de los cambios para calcular la varianza. Se utilizó un modelo de efectos aleatorios basado en el método de DerSimonian y Laird (201). Se siguieron los criterios de Cohen para interpretar la magnitud de la DME (DMS): $<0,2$, trivial; $0,2-0,5$, pequeña; $0,5-0,8$, moderada; y $> 0,8$, grande.

Se calculó el estadístico I^2 , como indicador del porcentaje de la variación total observada dentro de los estudios debida a la heterogeneidad real y no al azar, con el objetivo de evitar errores al utilizar el estadístico Q en la evaluación de la heterogeneidad (202). Los valores de I^2 se incluyen de 0 a 100%, lo que representa una pequeña cantidad de inconsistencia entre el 25% y el 50%, una cantidad media de heterogeneidad entre el 50% y el 75%, y una gran cantidad de heterogeneidad cuando el valor de I^2 es superior al 75% (203). En este sentido, se aceptarían los adjetivos bajo, moderado y alto referidos a valores de I^2 del 25%, 50% y 75%, respectivamente, aunque una categorización restrictiva no sería adecuada en todas las circunstancias (203–205).

2.2. MATERIAL Y MÉTODOS ARTÍCULO 2

2.2.1. Participantes

Treinta y dos triatletas amateurs masculinos ($32,17 \pm 4,87$ años; $22,57 \pm 1,79$ kg/m² y $7,8 \pm 1,05\%$ de masa grasa (MG)) con más de 5 años de experiencia en el rendimiento del triatlón participaron en este ensayo aleatorio doble ciego controlado con PL. Todos los triatletas completaron 6 sesiones de entrenamiento por semana durante las 9 semanas (periodo del estudio). Todos completaron el mismo volumen de trabajo (70% de trabajo aeróbico, 20% de sesiones de fuerza en el gimnasio y un 10% adicional de ejercicios de core, prevención de lesiones o movilidad articular) con una duración de 2,5 h/sesión de entrenamiento. La media total de horas de ejercicio durante el estudio fue de 135 h.

Además, un dietista-nutricionista registrado (número de registro: CLR-0020) elaboró un plan nutricional personal para cada triatleta. Este plan dietético semanal fue desarrollado para optimizar la salud y el rendimiento de cada participante, con el objetivo de proporcionar la ingesta necesaria así como la cantidad óptima de macro y micronutrientes según la carga de entrenamiento, considerando las características personales y las intolerancias de cada uno (30). Para controlar que todos los deportistas siguieran las dietas planificadas, llevaron a cabo dos métodos validados de registro de la dieta (206). El primer método fue un cuestionario de frecuencia de alimentos (FFQ), utilizado previamente en otros estudios con deportistas (207,208) al final del estudio (T2). El segundo método fue un registro dietético de siete días recogido la semana anterior a T1 y durante la semana de T2. Este método se utilizó para comprobar si los resultados del FFQ eran similares a los de este registro (209).

Todos los atletas se sometieron también a un examen médico y completaron un cuestionario de historial médico antes del inicio del estudio para averiguar si tenían algún tipo de enfermedad y/o lesión. Ningún participante tenía ninguna enfermedad, y no fumaba, ni bebía alcohol ni tomaba otros medicamentos, sustancias estimulantes o drogas que pudieran alterar las respuestas hormonales. Asimismo, para evitar la posible interferencia de otros suplementos nutricionales sobre las diferentes variables medidas en este estudio, se introdujo un periodo de lavado de dos semanas. Durante las 9 semanas de investigación, cada participante solo tomó el suplemento asignado y se abstuvo de tomar cualquier otro tipo de suplemento.

Todos los participantes fueron plenamente informados de todos los procedimientos del estudio y firmaron una declaración de consentimiento informado. Esta investigación fue diseñada de acuerdo con la Declaración de Helsinki (2008) y la actualización de Fortaleza (2013) y fue aprobada por el

Comité de Ética de Investigación Humana de la Universidad de León, León, España (número: ULE-020-2020). Asimismo, este estudio fue registrado en clinicaltrials.gov con el número NCT05143879.

2.2.2. Protocolo experimental y plan de evaluación

Este estudio se diseñó como un ensayo aleatorizado, doble ciego y controlado con PL para evaluar los efectos potenciales de la combinación de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) sobre el rendimiento deportivo durante 9 semanas a través de varias pruebas: HJUMP, DYN, 1-MAT y CP. Las dosis y el tiempo de suplementación propuestos para este estudio se basaron en estudios que habían encontrado resultados favorables con dosis similares (164,165).

Los participantes fueron distribuidos aleatoriamente en cuatro grupos previamente descritos por un estadístico independiente utilizando el software de código abierto OxMaR® (Oxford Minimization and Randomization, 2014): (I) grupo PL (PLG): $n = 8$; altura: 179 ± 8 cm y masa corporal: $73,5 \pm 5,4$ kg; (II) grupo CIT (CITG): $n = 8$; altura: 180 ± 9 cm y masa corporal: $69,9 \pm 7,8$ kg; (III): grupo de BR (BRG): $n = 8$; altura: 178 ± 8 cm y masa corporal $71,6 \pm 6,3$ kg y (IV) grupo CIT-BR (CIT- BRG): $n = 8$; altura: 181 ± 6 cm y masa corporal: $73,6 \pm 5,8$ kg.

La suplementación, incluido el PL (celulosa), se tomó en 6 cápsulas/día (3 cápsulas de 1 g de CIT de Hard Eight Nutrition LLC® (7511 Eastgate Rd, Henderson, NV 89011) y 3 cápsulas de 700 mg de BR que aportan 100 mg de NO_3^- de Lindens Health Nutrition® (1 Calder Point, Monckton Road, Wakefield, WF2 7AL), 2 (desayuno), 2 (comida) y 2 (cena) durante las 9 semanas del estudio. Semanalmente, un dietista-nutricionista titulado (LR003), que había preparado las cápsulas en ambos casos (atletas y equipo deportivo) y no conocía su contenido (doble ciego), entregó a cada atleta su suplemento y comprobó que el protocolo se estaba llevando a cabo según las directrices.

2.2.3. Pruebas de evaluación del rendimiento

Todos los participantes acudieron al laboratorio a las 8:30 horas para completar la prueba de rendimiento en dos momentos concretos del estudio: (T1) al inicio y (T2) después de la intervención tras 9 semanas de suplementación. El dietista-nutricionista preparó la dieta personal de cada triatleta para las 48 h anteriores a la prueba, basándose en una dieta recomendada para la competición (30).

Las pruebas fueron siempre supervisadas por el equipo técnico del estudio. Los atletas se familiarizaron con estas pruebas. Antes, se realizó un calentamiento estandarizado de 15 minutos: (I) 8 min de carrera incremental; (II) 3-min de trabajo de core; (III) 2 min de ejercicios para los músculos del tronco, cadera y piernas; y (IV) 2 min de diferentes tipos de salto. Tras el calentamiento, se realizaron las diferentes pruebas de rendimiento en la secuencia que se indica a continuación.

2.2.3.1. Prueba de salto horizontal

Se evaluó la longitud alcanzada por cada participante de cada grupo desde la línea de despegue hasta el punto en el que la parte más trasera del pie, el talón, aterrizaba en la superficie. La longitud alcanzada por el salto horizontal se midió colocando una cinta métrica en el suelo con una exactitud de 0,1 m y una precisión de 1 cm, analizando los valores de fuerza-tiempo y se obtuvieron, por integración numérica, los valores de velocidad-tiempo, siendo el producto de ambas variables los valores de fuerza-tiempo. La longitud final se obtuvo a partir del mejor de los dos saltos (210).

2.2.3.2. Test de dinamometría

Se realizó una prueba de fuerza de agarre isométrica utilizando un dinamómetro de agarre de mano (DYN). Antes de la prueba, y con el fin de optimizar los resultados, se ajustó el agarre para cada participante según el tamaño de su mano (211). El protocolo consistía en que cada atleta, en posición bípeda, agarraba el dinamómetro con la mano dominante y proporcionaba fuerza máxima durante 4 s (212). Este protocolo se repitió en tres ocasiones con descansos de 1 m de recuperación entre las repeticiones, y se utilizó el resultado más alto entre estos tres valores (kg/m^2) (211).

2.2.3.3. Prueba abdominal de 1 minuto

Se efectuó una prueba abdominal para evaluar el número máximo de repeticiones completadas en 1 minuto. Cada repetición se validó desde una posición inicial en la que los omóplatos tocaban la superficie del suelo hasta llegar a la parte superior, donde ambos codos debían tocar las rodillas. El investigador solo contó las repeticiones que seguían este protocolo (213).

2.2.3.4. Test de Cooper

El CP se realizó bajo la observación del equipo de investigación en una pista deportiva oficial sintética de 400 metros. Los triatletas estaban familiarizados con este test, ya que suelen utilizarlo a lo largo de la temporada (214). Los participantes completaron el protocolo tradicional de la prueba que consistía en recorrer la mayor distancia posible en 12 min (215). La distancia total recorrida en este tiempo se midió justo después de completar la prueba mediante marcadores colocados en la pista a intervalos de 50 m (216). Después, se calculó el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ estimado mediante la ecuación $22,351 \times \text{Distancia recorrida (en kilómetros)} - 11,288$.

2.2.4. Antropometría

Para las medidas antropométricas se utilizó el protocolo de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK) (209). Además, todos los participantes fueron medidos por el mismo antropometrista certificado internacionalmente ISAK 3 (número de certificado #636739292503670742). Todas las medidas se tomaron dos veces para establecer la fiabilidad de la nueva prueba. Si la diferencia entre ambas medidas superaba el 5% para un pliegue cutáneo individual, se tomaba una tercera medida. Para todos los análisis se utilizó la media de la medición tomada dos veces o la mediana de las mediciones antropométricas por triplicado. La estatura (cm) se midió con un tallímetro SECA®, con una precisión de 1 mm, mientras que la masa corporal (kg) se evaluó con una báscula modelo SECA®, con una precisión de 0,1 kg. El índice de masa corporal (IMC) se calculó mediante la ecuación peso (kg)/altura (m²). Se midieron ocho pliegues cutáneos (mm): tríceps, subescapular, bicipital, supraespinoso, supraespinal, abdominal, cara anterior del muslo y medial de la pantorrilla con un calibrador de pliegues cutáneos Harpenden® con una precisión de 0,2 mm, y se calculó la suma de estos 6 pliegues cutáneos. Las circunferencias (cm) (brazo relajado, brazo flexionado, cintura mínima, 1 cm por debajo del muslo de la nalga, el muslo medio y la pantorrilla) se midieron con una cinta métrica metálica inextensible Lufkin® modelo W606PM con una precisión de 1 mm. La MM se estimó mediante los componentes de Lee y del somatotipo (209).

2.2.5. Análisis estadístico

Las variables del estudio se representan como medias y desviaciones estándar para T1 y T2. El porcentaje de cambio (Δ : %) entre T1-T2 se calculó mediante la siguiente ecuación: $((T2 - T1)/T1) \times 100$ para cada grupo de estudio. Para analizar la normalidad de los datos para cada una de las variables, se utilizó el modelo de Shapiro-Wilk ($n < 50$). Se aplicó la prueba de Levene para determinar la homocedasticidad de las varianzas. Se realizó una prueba de análisis de la varianza (ANOVA) de dos vías para examinar los efectos de interacción del tiempo con la suplementación en las diferentes pruebas de rendimiento entre los distintos grupos de estudio (PLG, CITG, BRG, CIT-BRG). Posteriormente, se aplicó una prueba post-hoc de Bonferroni para comparaciones entre los diferentes grupos de estudio. Se utilizó la eta cuadrada parcial (η^2_p) para calcular el tamaño del efecto entre los participantes. Dado que es probable que esta medida sobreestime los tamaños del efecto, los valores se interpretaron según Ferguson (217).

2.3. MATERIAL Y MÉTODOS ARTÍCULO 3

2.3.1. Participantes

Treinta y dos triatletas amateurs masculinos del mismo club ($34,37 \pm 7,08$ años y $58,79 \pm 6,89$ mL/min/kg de $VO_{2m\acute{a}x}$) con al menos 5 años de experiencia participaron en este ensayo. Todos los atletas realizaron rigurosamente la misma metodología de entrenamiento y, por lo tanto, todos ellos fueron expuestos a la misma carga de entrenamiento en términos de tipo, intensidad y duración del ejercicio (Tabla 5): 15 h/semana, 6 días/semana durante las 9 semanas. Todos los participantes completaron un total de 135 h de entrenamiento durante el estudio.

Tabla 5. Tipo, intensidad y duración del programa de entrenamiento semanal.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1 ^a sesión	- 20 min de calentamiento - 15 min de estiramientos - 45 min de mindfulness	- 15 min técnicas de carrera - 45 min de entrenamiento de fuerza	- 120 m de bicicleta a 50-75% de $VO_{2m\acute{a}x}$ - 15 min de vuelta a la calma - 15 min de core	- 15 min técnicas de carrera - 45 min de entrenamiento de fuerza	- 75 min de carrera a 50-75% $VO_{2m\acute{a}x}$ - 20 min de entrenamiento de resistencia	- 75 min de natación a 75-90% de $VO_{2m\acute{a}x}$	- 15 min técnicas de carrera - 45 min de entrenamiento de fuerza
2 ^a sesión	DESCANSO	- 30 min de calentamiento - 30 min de carrera a 75-90% de $VO_{2m\acute{a}x}$ - 15 min de vuelta a la calma	DESCANSO	- 30 min de calentamiento - 30 min de natación a 75-90% de $VO_{2m\acute{a}x}$ - 15 min de vuelta a la calma	DESCANSO	- 60 min de paseo	- 120 min de bicicleta a 50-75% de $VO_{2m\acute{a}x}$ - 15 min de core

Asimismo, un dietista-nutricionista certificado (CLR-0020) desarrolló dietas personalizadas para cada participante. Estas dietas se planificaron con el objetivo de asegurar una adecuada ingesta energética y de macro y micronutrientes teniendo en cuenta la carga de entrenamiento y las características personales de cada triatleta y siguiendo las recomendaciones internacionales para un adecuado rendimiento deportivo (30).

Además, todos los atletas fueron sometidos a un examen médico y completaron un cuestionario de historial médico antes del inicio del estudio para saber si tenían algún tipo de enfermedad y/o lesión (218). Los participantes no presentaron ninguna enfermedad, y no bebieron alcohol, ni fumaron, ni consumieron otras drogas o sustancias estimulantes durante el periodo del

estudio que pudieran alterar la respuesta hormonal. Asimismo, para eliminar la probable interferencia de otras ayudas nutricionales con los diferentes resultados medidos en esta investigación, se incluyó un periodo de lavado de dos semanas (40,219,220).

Todos los triatletas fueron completamente informados de todas las acciones del estudio y firmaron una declaración personal de consentimiento informado, dando su acuerdo individual para participar en el trabajo propuesto. Este ensayo fue diseñado según la Declaración de Helsinki (2008) y la actualización de Fortaleza (2013) y fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de León, España (número: ULE-020-2020). Además, este estudio fue registrado en clinicaltrials.gov con el número NCT05143879.

2.3.2. Protocolo experimental y plan de evaluación

Este estudio se planificó como un ensayo aleatorizado, doble ciego y controlado con PL para evaluar el impacto de una suplementación oral de 9 semanas de la combinación de CIT más BR en el estado de recuperación mediante la prueba de rendimiento de distancia cubierta, los marcadores EIMD y las hormonas anabólicas/catabólicas en esta población deportiva. Las dosis propuestas de suplementos de CIT (3 g/día) y BR se basaron en estudios científicos anteriores que encontraron resultados favorables con dosis similares (164,165).

Los 32 atletas fueron asignados aleatoriamente a cuatro grupos diferentes de 8 participantes (Tabla 6) por un estadístico independiente utilizando el software de código abierto OxMaR (Oxford Minimization and Randomization, 2014) (221): (I) grupo PL (PLG); (II) grupo CIT (CITG); (III): grupo de BR (BRG); y (IV) grupo CIT-BR (CIT-BRG).

Tabla 6. Edad y altura de los participantes al inicio del estudio.

	PLG (n = 8)	CITG (n = 8)	BRG (n = 8)	CIT-BRG (n = 8)
Edad (años)	34,01 ± 7,03	32,75 ± 7,01	32,67 ± 6,54	34,35 ± 7,95
Altura (cm)	179 ± 8	180 ± 9	178 ± 8	181 ± 6

Los datos se presentan como media ± desviación estándar.

La suplementación con CIT se incluyó en 3 cápsulas de gelatina de 1 g de CIT de Hard Eight Nutrition LLC (7511 Eastgate Rd, Henderson, NV 89011). La suplementación con BR se incluyó en 3 cápsulas de gelatina de 700 mg (BR 5:1 equivalente a 3500 mg de raíz entera seca, estandarizada para contener 0,3% de betanina que proporciona 100 mg de NO₃⁻) de Lindens Health Nutrition (1

Calder Point, Monckton Road, Wakefield, WF2 7AL). Las cápsulas de PL (de celulosa) fueron de 1 g y 700 mg siendo del mismo color y forma que los otros dos suplementos para evitar el efecto PL (115). Todos los atletas tomaron el mismo número de cápsulas al día (3 cápsulas de 1 g (BIG) y 3 cápsulas de 700 mg (SMALL)) según sus grupos: PLG: 3 GRANDES de celulosa + 3 PEQUEÑOS de celulosa; CIT: 3 GRANDES CIT y 3 PEQUEÑOS de celulosa; BR: 3 GRANDES de celulosa + 3 PEQUEÑOS BR; y CIT-BRG: 3 GRANDES CIT + 3 PEQUEÑOS BR. Para garantizar el cegamiento, todas las cápsulas BIG eran blancas (CIT y PL) y todas las cápsulas SMALL eran rojas (BR y PL).

Todos los participantes tomaron 3 cápsulas GRANDES y 3 PEQUEÑAS, ya sea el PL o las ayudas, durante los 7 días de la semana después de cada una de las 3 comidas principales (1-1-1) para eliminar cualquier influencia de la variación circadiana (222). Se informó a los deportistas de que no debían cepillarse los dientes ni enjuagarse la boca durante las 2 horas siguientes a la ingesta de las cápsulas, basándose en el efecto de las bacterias orales sobre la reducción de NO_2^- a partir de NO_3^- . Además, desconocían el contenido de las cápsulas que les suministraba semanalmente un dietista-nutricionista independiente (LR003), que confirmaba que todos los triatletas cumplían el protocolo de ingesta.

2.3.3. Análisis de sangre

Todos los triatletas acudieron al laboratorio a las 8:30 horas para la extracción de sangre en dos momentos diferentes de la prueba: (T1) al inicio y (T2) después de 9 semanas de suplementación. Para la evaluación/valoración de los resultados EIMD y hormonales en T1 y T2, se tomaron muestras de sangre venosa antecubital. Todas las muestras se obtuvieron después de al menos 12 horas de ayuno y 48 horas sin ejercicio previo y después de estar en reposo durante 30 minutos.

Los marcadores EIMD (urea, creatinina, AST, ALT, GGT, CK y LDH) se midieron con el autoanalizador automático Hitachi 917® (Hitachi Ltd., Tokio, Japón) (223). Los resultados hormonales séricos (testosterona total y cortisol) se midieron mediante un ensayo fluorescente ligado a enzimas con la ayuda de un analizador multiparamétrico (MINI VIDAS®, Biomerieux, Marcy l'Etoile, Francia) (170). Se utilizó el sustrato 4-metilumbeliferona y la emisión de fluorescencia se realizó a 450 nm y, tras la estimulación, a 370 nm (224)[48]. El CV intraensayo fue del 5,7%, y el CV del ensayo intermedio fue del 6,2%. Finalmente, se calculó el T/C dividiendo la testosterona por el cortisol.

2.3.4. Test de Cooper

Tras el análisis de sangre y 2 h después del desayuno estandarizado (2 g de CHO/kg IMC y consistente en arroz, cereal de maíz con bebida de avena, fruta cocida y galletas con mermelada o membrillo dulce, queso o pasta) (30), los atletas realizaron un CP. Los atletas estaban familiarizados con esta prueba, ya que suelen utilizarla a lo largo de la temporada.

Antes de comenzar la prueba, se realizó un calentamiento estandarizado de 15 min: 8 min de carrera incremental; 3 min de trabajo de core; 2 min de ejercicios musculares de tronco, cadera y piernas; y 2 min de diferentes tipos de saltos. La CP de 12 min se realizó bajo la observación del equipo de investigación en una pista deportiva sintética de 400 m. Los participantes completaron el protocolo tradicional de la prueba, que consistía en cubrir la mayor distancia posible en 12 min (215). La distancia total recorrida en este tiempo se midió inmediatamente después de completar la prueba mediante marcadores colocados en la pista a intervalos de 50 m (216).

2.3.5. Antropometría

El mismo antropometrista certificado internacionalmente (ISAK nivel 3 con número de certificado: #636739292503670742) realizó las mediciones de todos los triatletas basándose en el protocolo de la ISAK (206). La altura (cm) se obtuvo con un tallímetro SECA® (Mod. 220; SECA Medical, Bradford, MA, USA), con una precisión de 1 mm. La masa corporal (kg) se midió con una báscula modelo SECA® (Mod. 220; SECA Medical, Bradford, MA, EE.UU.), con una precisión de 0,1 kg. El IMC se calculó mediante la ecuación masa corporal/altura² (kg/m²). Se evaluaron seis pliegues cutáneos (mm) -tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo delantero y pantorrilla medial- mediante un calibrador de pliegues cutáneos Harpenden® (Harpenden Skinfold Caliber, British Indicators Ltd., Londres, Reino Unido) con una precisión de 0,2 mm, y se calculó la suma de todos ellos. Las circunferencias (cm) (brazo relajado, brazo flexionado, cintura mínima, 1 cm por debajo de la nalga, muslo medio y pantorrilla) se midieron con una cinta métrica metálica inextensible Lufkin® modelo W606PM (Cooper Tools, Apex, NC, USA) con una precisión de 1 mm. La MG y la MM se estimaron mediante las ecuaciones de Carter y Lee, respectivamente (209).

2.3.6. Evaluación de la dieta

Los dietistas-nutricionistas que participaron en el estudio (J.B.-B. y J.M.-A.) informaron a todos los triatletas sobre el seguimiento adecuado de los alimentos. Instruyeron a los participantes sobre dos métodos válidos de seguimiento de la dieta [51]. El primer método era un FFQ utilizado

previamente en otras poblaciones deportivas (207) que los triatletas debían completar en la T2. Los atletas debían recordar su ingesta media de "frecuencia" alimentaria basada en determinados grupos de alimentos durante las 9 semanas anteriores. La frecuencia alimentaria se basó en el número de veces que se consumió cada alimento por día, semana o mes. El tamaño de las raciones se estimó mediante el peso estándar de los alimentos o determinando el tamaño de las raciones consultando un libro que contenía más de 500 fotografías de alimentos (225). El consumo de energía (kcal) y macronutrientes (g) se determinó dividiendo la ingesta declarada por la frecuencia en días utilizando un paquete de software validado (Easy diet©, versión online 2020) (226). Se calculó la ingesta total de energía y macronutrientes por kg de masa corporal para cada atleta. El segundo método fue un registro dietético de siete días recogido la semana anterior a T1 y durante la semana de T2. Este método se utilizó para comprobar si los resultados del FFQ eran similares a los de este registro (209).

2.3.7. Análisis estadístico

Los datos se muestran como medias y desviaciones estándar. Se utilizó el modelo de Shapiro-Wilk ($n < 50$) para determinar la normalidad. Asimismo, se comprobó el supuesto de homocedasticidad con la prueba anterior de Levene. A continuación, se evaluaron las diferencias de T1 a T2 en cada grupo por separado mediante pruebas t de Student para datos paramétricos emparejados. A continuación, se realizó una prueba de análisis de ANOVA de dos medidas repetidas para evaluar los efectos de interacción (tiempo \times grupo de suplementación).

Por otro lado, los cambios porcentuales de los resultados estudiados entre T1 y T2 en cada grupo de estudio se calcularon como Δ (%): $((T2 - T1)/T1) \times 100$. Se realizó una prueba de ANOVA de una vía para determinar si había diferencias significativas entre las medias de los distintos resultados analizados entre los 4 grupos de estudio. Se aplicó una prueba post hoc de Bonferroni para las comparaciones por pares entre los grupos complementados para establecer los niveles de significación estadística.

Los tamaños del efecto como medida cualitativa se estimaron mediante la eta cuadrado parcial (η^2p). Dado que esta medida sobreestima los tamaños del efecto, los valores se interpretaron basándose en Ferguson, quien indicó que no había efecto si $0 \leq \eta^2p < 0,05$, efecto mínimo si $0,05 \leq \eta^2p < 0,26$, efecto moderado si $0,26 \leq \eta^2p < 0,64$ y efecto fuerte si $\eta^2p \geq 0,64$ (217).

Los análisis se completaron con el software SPSS® versión 24.0 (SPSS, Inc., Chicago, Illinois, EE.UU.) y Microsoft Excel® versión 24 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EE.UU.), y los gráficos con el software GraphPad Prism 6 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA, EE.UU.). La significación estadística se designó cuando $p < 0,05$.

3. RESULTADOS



“No te puedes poner ningún límite. No hay nada imposible”

En base a los objetivos planteados, los principales resultados de la tesis indican que:

1) La suplementación con ARG podría tener efectos positivos en los resultados de las pruebas físicas relacionadas con el rendimiento anaeróbico y aeróbico. La dosis efectiva de ARG en protocolos agudos debería ajustarse a 0,15 g/kg (10-11 g) ingeridos entre 60-90 min antes del ejercicio para mejorar en las disciplinas aeróbicas y anaeróbicas. Por otro lado, la suplementación crónica de ARG de 1,5-2 g/día durante 4-7 o dosis más largas (10-12 g/día durante 8 semanas) presentó un impacto positivo en el rendimiento aeróbico y anaeróbico, respectivamente.

2) La suplementación combinada de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) durante 9 semanas podría mejorar la fuerza máxima y la fuerza de resistencia. Además, esta posible combinación promueve un aumento del rendimiento (en pruebas de potencia aeróbica) con respecto a la suplementación con CIT o BR por separado.

3) La combinación de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) durante 9 semanas no presentó ningún beneficio para el EIMD, pero evitó un aumento del cortisol y un descenso del T/C en comparación con el placebo (PL) o la suplementación aislada. Además, esta combinación promovió una mejor distancia recorrida en el CP tras 9 semanas de suplementación. Por lo tanto, el uso combinado de 3 g/día de CIT y BR (300 mg/día de NO_3^-) podría promover un estado de recuperación muscular más rápido, pero sin prevenir el EIMD.

Las conclusiones obtenidas en la presente tesis doctoral indican que la combinación de estos dos suplementos puede ser de gran ayuda para los profesionales que trabajan con el deportista para mejorar el rendimiento aeróbico y la recuperación.

3.1. RESULTADOS ARTÍCULO 1

3.1.1. Búsqueda principal

La búsqueda bibliográfica a través de la base de datos electrónica identificó un total de 120 registros según la ecuación de búsqueda seleccionada y se incluyeron 11 estudios adicionales mediante búsquedas en la lista de referencias. Sin embargo, solo 18 estudios cumplían todos los criterios de inclusión (Figura 12). De estos 131 artículos iniciales, se eliminaron 16 tras el análisis de duplicación. De los 115 estudios restantes, se excluyeron 57: 17 eran revisiones y 40 no estaban relacionados con humanos. Por tanto, se evaluaron 58 artículos de texto completo para determinar su elegibilidad. De ellos, se eliminaron 40 por los siguientes motivos: 21 incluían más de un suplemento, 7 utilizaban otros suplementos, 8 se realizaron en sujetos no relacionados y 4 por resultados inadecuados. Así, se incluyeron un total de 18 estudios en el análisis para esta revisión sistemática. Sin embargo, debido a la insuficiencia de datos para realizar el metaanálisis, se eliminaron tres estudios (123,227) de la síntesis cuantitativa y se incluyeron un total de 15 para el análisis.

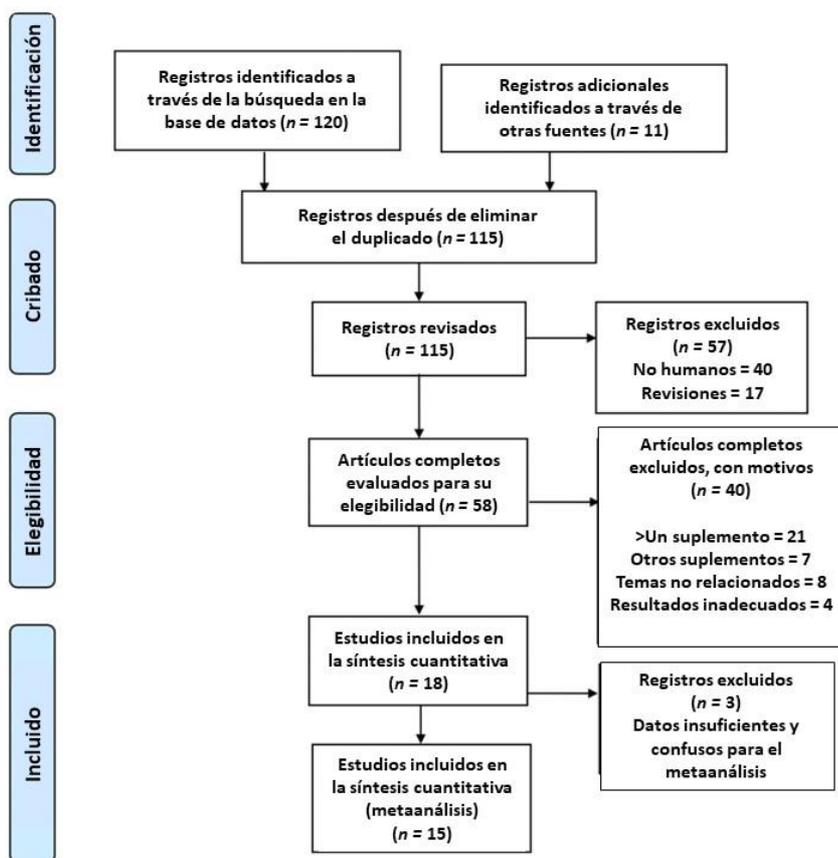


Figura 12. Diagrama de flujo de los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Metaanálisis (PRISMA).

3.1.2. Suplementación con arginina

La tabla 7 muestra que 8 estudios siguieron un diseño aleatorio, doble ciego y controlado con PL (25,73,98,111,118,228–231) (232), 7 un diseño aleatorio, doble ciego, cruzado y controlado con PL (109,123,136,137,227,233) y 3 un diseño aleatorio controlado con PL (83,138,234). Ninguno de los estudios incluidos presentó conflicto de intereses. De los 18, 6 estudios se realizaron en atletas sanos con entrenamiento de resistencia o aeróbico (98,123,137,228,229,231) 3 en atletas de deportes de equipo (fútbol) (73,138,230,232), 2 en atletas de deportes de combate (judo y luchadores) (109,227), 1 en varones con entrenamiento de resistencia (118) y los 6 restantes en varones y mujeres sanos con actividad recreativa (83,111,136,233,235). El total de participantes en los estudios incluidos en la revisión sistemática fue de 394 (386 hombres y 8 mujeres). De ellos, 282 eran atletas entrenados o de élite. 16 estudios dividieron a los participantes en el grupo de PL o control (CON) y en el grupo de ARG (73,83,229–231,233,235,98,109,118,123,136–138,227) (232). Los dos restantes asignaron a los participantes en los grupos PL o CON y 2 grupos ARG (111,228), con el fin de comparar diferentes dosis.

Los participantes ingirieron suplementos en protocolos agudos y crónicos (Tabla 7). Once estudios realizaron una ingesta aguda de ARG, entre 30 min y dos días antes de las pruebas. Concretamente, 5 estudios utilizaron la suplementación de ARG 60 min antes de la prueba (109,123,227,230,232), 2 estudios 90 min antes (228,235), 1 estudio (229) 80 min antes, 1 estudio (136) 4 h y 30 min antes de la prueba, otro (137) proporcionó suplementos 60 min y 30 min antes de la prueba, y un último (235) 30 min antes. Los 7 estudios restantes utilizaron protocolos de suplementación crónica entre 7 y 45 días: en 3 de ellos, los participantes ingirieron ARG durante 4 semanas o 28 días (98,111,231,232), mientras que 1 estudio proporcionó suplementación durante 7 días (83), Mor y col. (138) utilizaron un protocolo de 14 días, Pahlavani y col. (73) utilizaron un protocolo más largo de 45 días, y Campbell y col. (118) durante 8 semanas o 56 días.

En 14 estudios, la dosis de suplementación con ARG fue absoluta. De ellos, en 8 estudios el protocolo consistió en 6 g/día de ARG (83,98,137,138,227,229,233,235), en 2 ensayos se utilizaron 2 g/día (73), en 1 estudio se ingirieron 12 g/día (118), en otro se proporcionaron 3,7 g (136), Abel y col. (231) utilizaron 5,7 g/día y 2,85 g/día para cada grupo, y en el restante se proporcionaron 1,5 g/día y 3 g/día (111). En 3 estudios se utilizó una dosis de suplementación relativa: 0,075 g·kg⁻¹ de masa corporal (123,232) y 0,15 g·kg⁻¹ de masa corporal (109,230). La excepción fue el ensayo realizado por Hurst y col. (228), en el que se proporcionaron a los participantes ambas dosis, absoluta (6 g/d) y relativa (0,15 g·kg⁻¹ de masa corporal).

Tabla 7. Características de los participantes y de la intervención de los estudios incluidos en la revisión sistemática y el metaanálisis.

Característica General	Característica de Intervención	Estudios Incluidos	
Diseño del estudio	Aleatorio, doble ciego y controlado por placebo	8 estudios [9,11,12,20,31,59-61]	
	Aleatorio, doble ciego, cruzado y controlado por placebo	7 estudios [10,25,39,40,57,58,62]	
	Aleatorio y controlado por placebo	3 estudios [32,41,63]	
Conflicto de intereses	Ninguno	18 estudios [9-12,20,25,31,32,39-41, 57-63]	
Características de los sujetos	Entrenados en resistencia	6 estudios [11,25,31,40,59,61]	
	Atletas de deportes de lucha	Judo – 1 estudio [58] Lucha libre – 1 estudio [10]	
	Futbolistas	3 estudios [9,41,60]	
	Entrenados en resistencia	1 estudio [20]	
	Activo	6 estudios [12,32,39,57,62,63]	
Tipo de suplemento de arginina	L-Arginina	15 estudios [9-12,25,31,32,40,41,57-60,62,63]	
	Arginina Aspartato	1 estudio [61]	
	Arginina Alfa-Cetoglutarato	2 estudios [20,39]	
Tipo de administración de arginina	Absoluto	14 estudios [9,12,20,31,32,39-41,57-59,61-63]	
	Basado en la masa corporal del individuo	3 estudios [3,10,13]	
	Ambos	1 estudio [4]	
Dosis utilizada	12 g/día	1 estudio [20]	
	6 g/día	8 estudios [31,32,40,41,58,59,62,63]	
	3,7 g/día	1 estudio [39]	
	2 g/ día	2 estudios [9,57]	
	5,7 d/día (grupo 1) and 2,85 g/ día (grupo 2)	1 estudio [61]	
	1,5 d/día (grupo 1) and 3 g/día (grupo 2)	1 estudio [12]	
	0,075 g·kg ⁻¹ masa corporal	1 estudio [25]	
	0,15 g·kg ⁻¹ masa corporal	2 estudios [10,60]	
	6 g/día (grupo 1) and 0,15 g·kg ⁻¹ masa corporal (grupo 2)	1 estudio [11]	
Hora de ingesta	Aguda	60 min antes de la prueba	5 estudios [10,25,57,58,60]
		90 min antes de la prueba	2 estudios [11,62]
		80 min antes de la prueba	1 estudio [59]
		4 h + 30 min antes de la prueba	1 estudio [39]
		60 min + 30 min antes de la prueba	1 estudio [40]
	Crónica	30 min antes de la prueba	1 estudio [63]
		56 días u 8 semanas	1 estudio [20]
		45 días	1 estudio [9]
		28 días o 4 semanas	3 estudios [12,31,61]
		14 días	1 estudio [41]
7 días	1 estudio [32]		

3.1.2.1. Efecto de la arginina en el rendimiento anaeróbico ($>VO_{2m\acute{a}x}$)

La tabla 8 presenta las diferentes pruebas realizadas en los estudios seleccionados para determinar el rendimiento por encima de la intensidad del $VO_{2m\acute{a}x}$ y los resultados medidos. El RSAT se utilizó en dos estudios (138,230). Los ejercicios de fuerza como la flexión isocinética, la extensión isocinética y el press de banca se utilizaron en otros dos estudios (137,229). El test de 1 minuto de salida fue realizado por Bailey y col. (83), la TT de 1 km por Hurst y col. (228), y el Test de Wingate en los ensayos de Olek y col. y Campbell y col. (118).

La suplementación con ARG mostró mejoras en el Test de Wingate y en el RM del tren superior (118), así como en las repeticiones totales de dominadas (136), pero en los 8 ensayos restantes no se encontraron diferencias en el tratamiento (83,137,138,227–230).

Tabla 8. Resumen de los estudios incluidos en la revisión sistemática que investigaron el efecto de la arginina en el rendimiento $>VO_{2\text{máx}}$ (prueba de menos de 5 min). (232)

Autor	Población	Intervención	Prueba	Resultados	Conclusiones Principales
Alvarez, T.S. y col., 2012	15 voluntarios varones sanos con experiencia previa en el entrenamiento de resistencia. ARG: 26,3 ± 4,9 años vs. PLA, 24,7 ± 1,8 años.	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo. 6 g/d de L-Arg (80 min antes de la prueba).	Ejercicio de flexión y extensión del codo dominante con dinamómetro isocinético. 3 series de 10 contracciones voluntarias máximas.	<ul style="list-style-type: none"> Par máximo Trabajo total 	↔ ↔
Bailey S.J. y col., 2015	10 hombres sanos, recreativamente activos (19 ± 1 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo. 6 g/d de L-Arg (7 días).	Día 6: ciclo completo de esprint de 1 min.	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo total 	↔ ↔
Eirol A. y col., 2019	20 futbolistas varones voluntarios y sanos (18,30 ± 0,48 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo. L-Arg 0,15 g/kg/día (60 min antes de la prueba).	RSAT: 12 × 20 m con 30 s de descanso.	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo total de sprint Tren superior 1RM 	↔ ↑
Campbell B. y col., 2006	35 hombres adultos entrenados en resistencia (39,8 ± 5,8 años).	Controlado con placebo. 12 g/d (4 g × 3) Arg Alfa-Cetoglutarato (8 semanas).	Banco plano para el tren superior 1RM. Test de Wingate. Extensión isocinética de piernas 50 rep.	<ul style="list-style-type: none"> Tren superior 1RM Potencia máxima Tiempo hasta potencia máxima Tasa de fatiga Extensión isocinética de piernas 	↑ ↑ ↑ ↔
Greer B.K. y col., 2011	12 hombres en edad universitaria (22,6 ± 3,9 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo, cruzado. 3,7 g de Arg Alfa-Cetoglutarato (4 h + 30 min antes de la prueba).	3 series de dominadas, dominadas inversas y flexiones hasta el agotamiento.	<ul style="list-style-type: none"> Dominadas Dominadas inversas Flexiones 	↑ ↔ ↔
Hurst H.T. y col., 2014	8 ciclistas varones sanos y entrenados (21,00 ± 1,41 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado por placebo. Grupo 1: 6 g de L-Arg. Grupo 2: 0,15 g kg ⁻¹ masa corporal (90 min antes de la prueba).	1 km TT en cicloergómetro.	<ul style="list-style-type: none"> Tiempo para completar Grupo 1 Potencia de salida Grupo 1 Tiempo para completar Grupo 2 Potencia de salida Grupo 2 	↔ ↔ ↔ ↔
Liu T.H. y col., 2009	10 atletas de judo varones universitarios de élite (20,2 ± 0,6 años).	Aleatorio, cruzado, controlado por placebo. 6 g/d L-Arg (2 días, 60 min antes de la prueba).	13 × Prueba total: 20 s con 15 s de reposo. Cicloergómetro.	<ul style="list-style-type: none"> Potencia total 	↔
Meirelles C.M. y col., 2018	12 estudiantes universitarios sanos, varones entrenados en resistencia. (27 ± 3 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado por placebo, cruzado. 6 g L-Arg (3 g 60 min antes de la prueba + 3 g 30 min después de la prueba).	Press de banca en una máquina Smith y extensión unilateral de la rodilla de la pierna derecha.	<ul style="list-style-type: none"> Repeticiones de press de banca Repeticiones de extensión de rodilla 	↔ ↔
Mor A. y col., 2018	28 futbolistas aficionados (18-30 años).	Aleatorio, controlado por placebo. 6 g/d de L-Arg (14 días).	Prueba de carrera anaeróbica en Sprint (RAST): 6 × 32 m con 10 s de descanso.	<ul style="list-style-type: none"> Potencia media 	↔
Olek R.A. y col., 2010	6 voluntarios sanos y activos pero no altamente entrenados (23,2 ± 0,5 años).	Aleatorio, doble ciego, cruzado, controlado por placebo. 2 g de L-Arg (60 min antes de la prueba).	3 × Test de Wingate de los 30 en Cicloergómetro con 4 min de descanso.	<ul style="list-style-type: none"> Potencia de salida 	↔

↑: efectos estadísticamente superiores; ↓: efectos estadísticamente inferiores. ↔ Ningún efecto. 1RM: una repetición máxima; Arg: Arginina; RSAT: Test de Capacidad de Esprint Repetido.

3.1.2.2. Efecto de la arginina en el rendimiento aeróbico ($\leq VO_{2m\acute{a}x}$)

La tabla 9 muestra las pruebas, los resultados medidos y los efectos de la suplementación con ARG en rendimiento aeróbico o $\leq VO_{2m\acute{a}x}$. De los 11 estudios, 6 probaron el rendimiento con un cicloergómetro (83,109,111,123,228,231) (232), cuatro en protocolos de carrera (98,118,233,235) y un protocolo de pasos restantes (73). Se utilizó la prueba incremental hasta el agotamiento en 5 ensayos (83,109,111,118,231) y 2×5 km TT en otros 2 estudios (98,235). Forbes y col. (123) realizaron una prueba de 60 min al 80% del VT, Hurst y col. (228) una TT de 16,1 km, y Vanhatalo y col. (233) 2×6 min de carrera seguidos de una prueba de carrera hasta el agotamiento. Por último, Pahlavani y col. (73) utilizaron la prueba de paso de Harvard para medir la capacidad de $VO_{2m\acute{a}x}$.

Se encontraron mejoras en el rendimiento en 4 estudios, correspondientes a la reducción del tiempo hasta el agotamiento (109), el aumento de la potencia de salida en 1 de los dos grupos ARG (228), la capacidad de trabajo físico (111) y la puntuación de rendimiento (73). En los ensayos restantes (83,118,123,228,229,231,233,235) el tratamiento no mostró ninguna mejora del rendimiento.

Tabla 9. Resumen de los estudios incluidos en la revisión sistemática que investigaron el efecto de la arginina en el rendimiento $<VO_{2\text{máx}}$ (prueba de 5 min o más).

Autores	Población	Intervención	Prueba	Resultados	Conclusiones Principales
Abel, T. y col., 2005	30 atletas masculinos entrenados en resistencia (Grupo 1: 36,5 ± 10 años; Grupo 2: 34,4 ± 8,6 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo. Grupo 1: 5,7 g/d Arg-Aspartato; Group 2: 2,85 g/d Arg-Aspartato. (4 semanas).	Prueba incremental en cicloergómetro	Tiempo hasta el agotamiento Grupo 1 Tiempo hasta el agotamiento Grupo 2	↔ ↔
Alvares, T.S. y col., 2014	15 corredores sanos y experimentados (11 varones y 4 mujeres) (36,8 ± 7,1 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo. 6 g/d de clorhidrato de L-Arg encapsulada (4 semanas).	2 × 5 Km TT de carrera con 10 min de recuperación	Tiempo total de carrera.	↔
Bailey S.J. y col., 2015	10 hombres sanos, recreativamente activos (19 ± 1 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo. 6 g/d de L-Arg (7 días).	Día 7: Prueba de tiempo hasta el agotamiento en cicloergómetro	Tiempo hasta el agotamiento.	↔
Camici, C.L. y col., 2010	50 hombres en edad universitaria (23,9 ± 3,0 años)	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo. 3 grupos: (a) placebo (n = 19); (b) 1,5 g/d Arg (n = 14); o (c) 3,0 g/d Arg (n = 17) (4 semanas).	Prueba incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro	PWC _{FT} Grupo 1 PWC _{FT} Grupo 2	↑ ↑
Campbell B. y col., 2006	35 hombres adultos entrenados en resistencia (39,8 ± 5,8 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo. 12 g/d (4 g × 3) de Arg Alfa-Cetoglutarato (8 semanas).	Protocolo de Bruce: Prueba de carrera incremental	Tiempo hasta el agotamiento.	↔
Da Silva D.V., 2014	15 voluntarios sanos y físicamente activos (11 varones y 4 mujeres). ARG: 36,8 ± 7,1 años; PLA: 30,6 ± 9,5 años).	Aleatorio, controlado con placebo. 6 g/d de L-Arg (30 min antes de la prueba).	2 × 5 km TT de carrera con 10 min de recuperación	Tiempo total de carrera.	↔
Forbes S.C. y col., 2013	15 hombres entrenados aeróbicamente (edad: 28 ± 5 años)	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo, cruzado. L-Arg 0,075 g kg ⁻¹ masa corporal (60 min antes de la prueba).	60 min al 80% de VT en cicloergómetro	Potencia media de salida en umbral ventilatorio.	↔
Hurst H.T. y col., 2014	8 ciclistas varones, sanos y entrenados (21,00 ± 1,41 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo. Grupo 1: 6 g L-Arg. Grupo 2: 0,15 g kg ⁻¹ masa corporal (90 min antes de la prueba).	16,1 km TT en cicloergómetro	Tiempo para completar Grupo 1 Potencia de salida Grupo 1 Tiempo para completar Grupo 2 Potencia de salida Grupo 2	↔ ↔ ↔ ↑
Pahlavani N., y col., 2017	56 futbolistas masculinos (20,85 ± 4,29 años).	Aleatorio, doble ciego, controlado con placebo. 2 g/d L-Arg (45 días).	Prueba de Paso de Harvard	Puntuación de rendimiento	↑
Vanhatalo A., y col., 2013	18 estudiantes varones sanos y recreativamente activos (22 ± 3 años)	Aleatorio, doble ciego, cruzado, controlado con placebo. 6 g/d de L-Arg (90 min antes de la prueba).	2 × 6 min de carrera moderada + 1 min de carrera hasta el agotamiento	Tiempo hasta el agotamiento.	↔
Yavuz, H.U., y col., 2014	9 luchadores de élite voluntarios masculinos (24,7 ± 3,8 años)	Aleatorio, controlado con placebo, cruzado. L-Arg 0,15 g kg ⁻¹ masa corporal (60 min antes de la prueba).	Prueba incremental hasta el agotamiento en cicloergómetro	Tiempo hasta el agotamiento.	↑

↑: efectos estadísticamente superiores; ↓: efectos estadísticamente inferiores. ↔ Ningún efecto. Arg: Arginina; TT: Total Prueba Contrarreloj; PWC_{FT}: Capacidad Física de Trabajo en el Umbral de Fatiga; VT: Umbral Ventilatorio.

3.1.2.3. Efecto sobre el rendimiento anaeróbico (>VO_{2máx}). Metaanálisis

La figura 13 muestra que la ARG presentó un efecto pequeño y significativo sobre el rendimiento anaeróbico (g de Hedges (DME) = 0,24; IC del 95% (0,05-0,43); p = 0,01). El metaanálisis informó de una pequeña cantidad de inconsistencia entre los estudios revisados (I² = 0%; p = 0,85). Tres estudios analizados presentaron efectos positivos en los resultados del rendimiento anaeróbico tras la suplementación con ARG. Entre ellos, Campbell y col. (118) obtuvieron fuertes mejoras en el RM de la parte superior del cuerpo y en los parámetros del Test de Wingate como la potencia máxima, el tiempo hasta la potencia máxima y el índice de fatiga. Por otro lado, Hurst y col. (228) mostraron efectos pequeños y no significativamente positivos en el tiempo hasta la finalización y la potencia de salida durante la TT de 1 km en cicloergómetro, así como Birol y col. (230) respecto al tiempo total de sprint durante el RSAT. Aunque estos resultados no fueron significativos, en los ensayos originales se mostraron claras tendencias favorables a la ARG. En este sentido, debido a las circunstancias estadísticas, como el bajo número de participantes y los criterios seguidos, los resultados no pudieron considerarse estadísticamente significativos (p < 0.05) en cada estudio. Sin embargo, en nuestro metaanálisis, una vez analizados todos los estudios, se obtuvieron resultados significativamente positivos a favor de la suplementación con ARG, lo que demuestra que, en conjunto, los efectos de la ARG en relación con los resultados anaeróbicos fueron favorables (p = 0,01).

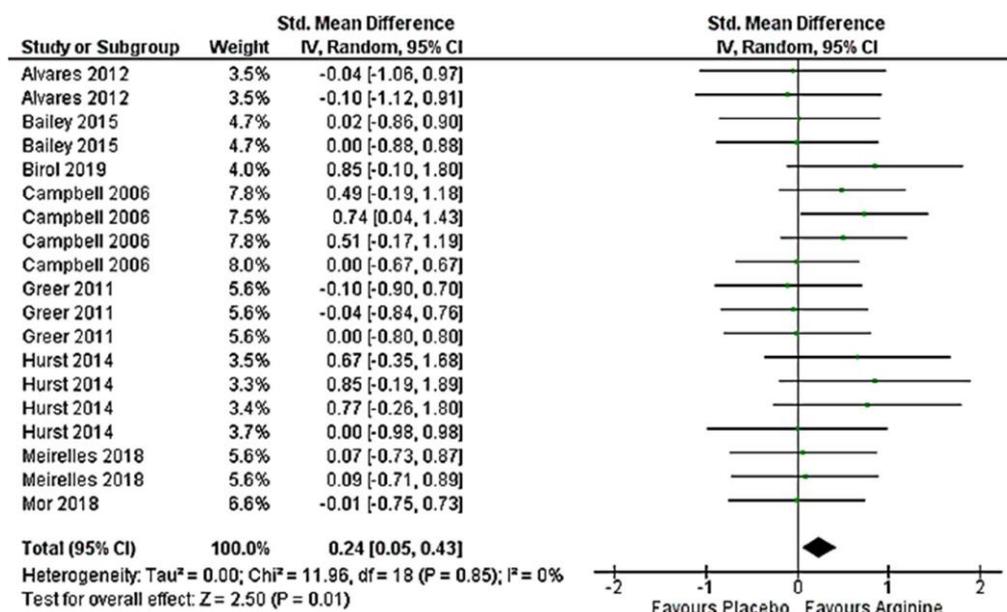


Figura 13. Diagrama de bosque que compara los efectos de la suplementación con arginina en el rendimiento anaeróbico (>VO_{2máx}).

3.1.2.4. Efecto sobre el rendimiento aeróbico ($\leq VO_{2m\acute{a}x}$). Metaanálisis

La ARG mostró un efecto grande y significativo sobre el rendimiento aeróbico (g de Hedges (DME) = 0,84; IC del 95% (0,12-1,56); p = 0,02) (Figura 14). El metaanálisis informó de una gran heterogeneidad entre los estudios revisados ($I^2 = 89\%$; p < 0,001). En cuanto a los efectos, Camic y col. (111) y Pahlavani y col. (73) mostraron grandes mejoras a favor de la suplementación con ARG en la capacidad de trabajo físico en el umbral de fatiga y en la puntuación de rendimiento de la prueba de paso de Harvard, respectivamente. Yavuz y col. obtuvieron resultados moderadamente positivos (109) durante una prueba incremental de cicloergómetro hasta el agotamiento. De forma similar, Hurst y col. (228) mostraron mejoras moderadas en la potencia de salida durante una TT de 16,1 km en cicloergómetro. Sin embargo, estos resultados solo se observaron en uno de los dos grupos analizados, sin pequeños resultados positivos significativos en el tiempo hasta la finalización para el grupo 1 y 2, y la potencia de salida para el grupo 1.

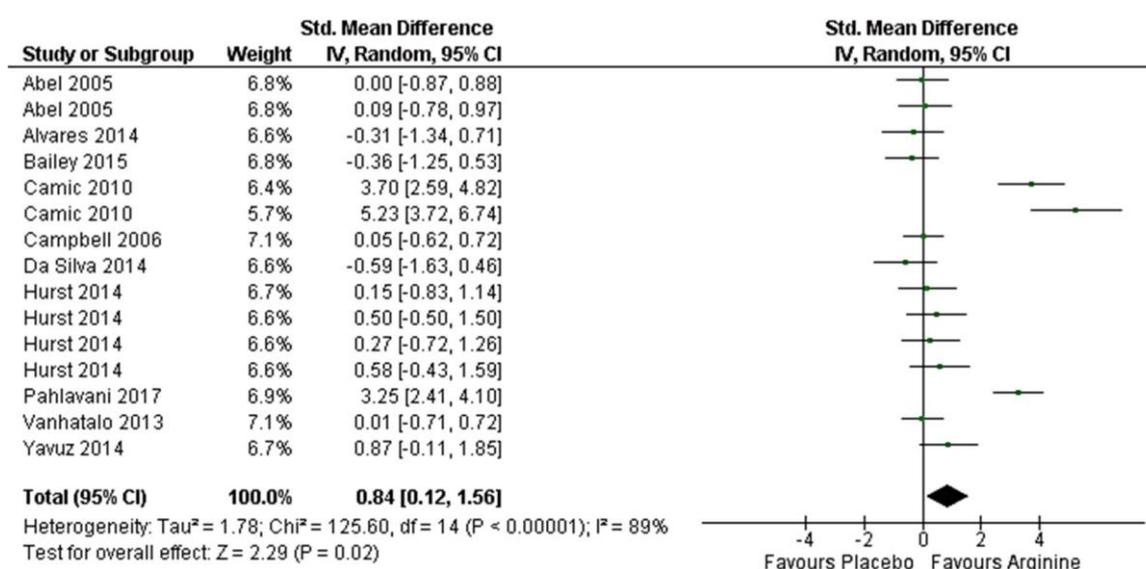


Figura 14. Diagrama de bosque que compara los efectos de la suplementación con arginina sobre el rendimiento aeróbico ($\leq VO_{2m\acute{a}x}$).

3.2. RESULTADOS ARTÍCULO 2

Los datos obtenidos sobre la composición corporal y el somatotipo no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la interacción grupo-tiempo (masa corporal, MM y porcentaje de MG) (Tabla 10). Sin embargo, se observaron aumentos significativos ($p < 0,05$) entre los dos momentos del estudio (T1 vs. T2) para la MM (%) y la mesomorfia en CIT + BRG (Tabla 10).

Tabla 10. Composición corporal y datos del somatotipo en los cuatro grupos del estudio al inicio (T1) y después de 9 semanas de suplementación (T2).

Grupo	T1	T2	P (TxG)	η^2p
6 Pliegues (mm)				
PLG	61,10 ± 19,46	57,77 ± 20,37	0,251	0,140
CITG	55,75 ± 13,68	49,28 ± 12,53		
BRG	61,66 ± 19,86	53,15 ± 9,11		
CIT-BRG	46,95 ± 15,82	47,53 ± 20,61		
Masa muscular (%)				
PLG	43,43 ± 3,28	44,47 ± 3,69	0,137	0,195
CITG	48,42 ± 5,85	45,86 ± 3,78		
BRG	45,09 ± 3,11	46,44 ± 3,34		
CIT-BRG	45,56 ± 3,01	48,00 ± 2,10 *		
Endomorfia				
PLG	2,82 ± 1,03	2,65 ± 0,87	0,482	0,089
CITG	2,33 ± 0,72	1,97 ± 0,46		
BRG	2,68 ± 0,44	2,33 ± 0,46		
CIT-BRG	2,24 ± 0,87	2,17 ± 0,84		
Mesomorfia				
PLG	5,20 ± 0,41	5,33 ± 0,60	0,568	0,079
CITG	5,38 ± 0,89	5,86 ± 1,13		
BRG	5,37 ± 0,95	5,66 ± 1,11		
CIT-BRG	4,70 ± 0,70	5,03 ± 0,81 *		
Ectomorfia				
PLG	2,48 ± 0,80	2,44 ± 0,66	0,746	0,031
CITG	2,62 ± 0,84	2,46 ± 0,77		
BRG	2,59 ± 0,92	2,58 ± 0,93		
CIT-BRG	3,03 ± 0,87	3,03 ± 0,83		

Los datos se expresan como media ± desviación estándar. P (TxG): interacción grupo-tiempo ($p < 0,05$). ANOVA de dos medidas repetidas. PLG: grupo de PL; CITG: grupo suplementado con CIT; BRG: grupo de BR; CIT-BRG: grupo de CIT más BR. *: Diferencia significativa entre las dos fases del estudio (T1 vs. T2) mediante la prueba t de muestras dependientes ($p < 0,05$).

La tabla 11 muestra los valores de las diferentes variables analizadas durante las pruebas físicas realizadas en los momentos T1 y T2. Se pueden observar interacciones significativas grupo-tiempo en el $VO_{2m\acute{a}x}$ estimado por el CP ($p = 0,002$; $2p = 0,418$). Sin embargo, no hubo diferencias significativas en la interacción grupo-tiempo para las pruebas HJUMP, DYN y 1-MAT ($p > 0,05$).

Además, se observaron aumentos significativos ($p < 0,05$) entre los dos momentos del estudio en 1-MAT, en CIT-BRG (T1: $49,3 \pm 9,7$ vs. T2: $56,6 \pm 11,4$ repeticiones), HJUMP (T1: $2034,1 \pm 114,84$ vs. T2: $2114,6 \pm 170,1$ cm) y en el CP (T1: $2953,00 \pm 372,7$ vs. T2: $3079,6 \pm 423,5$ m). Por último, todos los grupos mostraron aumentos significativos en el DYN tras 9 semanas de suplementación ($p < 0,05$).

Tabla 11. Fuerza máxima, resistencia-fuerza y potencia aeróbica en los cuatro grupos del estudio al inicio (T1) y después de 9 semanas (T2).

Grupo	T1	T2	P (T x G)	η^2p
Prueba de salto horizontal (cm)				
PLG	$2145,8 \pm 163,7$	$2156,7 \pm 219,6$	0,696	0,049
CITG	$2214,7 \pm 221,5$	$2227,1 \pm 214,9$		
BRG	$2113,8 \pm 164,4$	$2143,9 \pm 256,4$		
CIT-BRG	$2034,1 \pm 114,8$	$2114,6 \pm 170,1$ *		
Test de dinamometría de agarre de la mano (Kg/m·s ²)				
PLG	$51,13 \pm 4,70$	$57,13 \pm 9,11$ *	0,607	0,092
CITG	$53,75 \pm 4,92$	$63,00 \pm 4,24$ *		
BRG	$56,33 \pm 2,66$	$60,51 \pm 5,28$ *		
CIT-BRG	$51,43 \pm 6,29$	$56,71 \pm 9,62$ *		
Prueba abdominal de 1 minuto (repeticiones)				
PLG	$51,1 \pm 13,3$	$50,5 \pm 10,2$	0,145	0,191
CITG	$4,0 \pm 7,8$	$50,7 \pm 7,5$		
BRG	$54,9 \pm 8,0$	$59,1 \pm 11,8$		
CIT-BRG	$49,3 \pm 9,7$	$56,6 \pm 11,4$ *		
Estimación del VO ₂ máx (mL/kg/min)				
PLG	$58,3 \pm 5,5$	$56,7 \pm 5,9$	0,002	0,418
CITG	$56,6 \pm 7,9$	$56,5 \pm 8,1$		
BRG	$57,6 \pm 9,3$	$59,5 \pm 9,6$		
CIT- BRG	$54,7 \pm 8,3$	$57,5 \pm 9,5$ *		

Los datos se expresan como media \pm desviación estándar. P (T x G): interacción grupo-tiempo ($p < 0,05$, todas las ocurrencias de este tipo) mediante ANOVA de medidas repetidas de dos vías. *: Significativamente diferente entre dos fases del estudio (T1 vs. T2) por prueba t de muestra dependiente ($p < 0,05$). PLG: grupo de PL; CITG: grupo con suplementos de CIT; BRG: grupo de BR; CIT-BRG: grupo de CIT más BR.

La figura 15 muestra el porcentaje de cambio en las diferentes pruebas físicas para cada uno de los grupos de estudio. Se observan diferencias significativas para el CP ($p = 0,003$; $\eta^2p = 0,418$). Concretamente, CIT-BRG presentó un valor de % de cambio significativamente mayor que PLG y CITG ($p < 0,05$). Sin embargo, aunque no se encontraron diferencias significativas para el rendimiento de la fuerza máxima (HJUMP y DYN) y de la fuerza de resistencia (1-MAT) ($p > 0,05$), el CIT-BRG presentó un mayor % de cambio en HJUMP y 1-MAT que otros grupos.

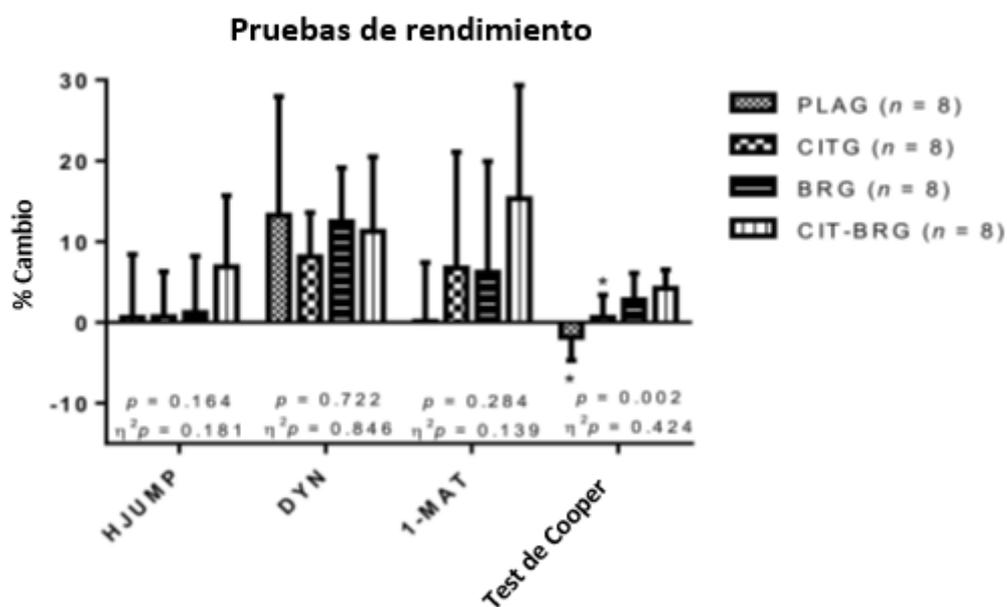


Figura 15. Cambios porcentuales durante el estudio en la fuerza máxima, la fuerza de resistencia y la potencia aeróbica en los triatletas. Los datos se presentan como media \pm desviación estándar. D: $((T2 - T1)/T1) \times 100$. *: Diferencias significativas con respecto al CIT-BRG ($p < 0,05$).

3.3. RESULTADOS ARTÍCULO 3

Durante la prueba, los triatletas no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0,05$) en los valores de ingesta de energía y macronutrientes entre los grupos (Tabla 12).

Tabla 12. Ingesta de energía y macronutrientes de los triatletas durante 9 semanas de estudio.

	PLG	CITG	BRG	CIT+BRG
Energía (kcal/kg)	45 ± 6,4	45,2 ± 6,8	44,9 ± 6,5	45,3 ± 7,2
Proteína (g/kg)	1,4 ± 0,5	1,5 ± 0,7	1,4 ± 0,8	1,4 ± 0,5
Grasa (g/kg)	1,4 ± 0,4	1,5 ± 0,5	1,4 ± 0,6	1,5 ± 0,6
CHO (g/kg)	7,0 ± 1,0	7,1 ± 1,2	7,1 ± 1,4	7,0 ± 1,3

Los datos se muestran como media ± desviación estándar. PLG: grupo PL, CITG: grupo CIT, BRG: grupo de NO₃⁻; CIT-BRG: grupo suplementado con CIT más NO₃⁻.

La masa corporal, el IMC, la MM y el porcentaje de MG no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la interacción grupo-tiempo (Tabla 13).

Tabla 13. Resultados de antropometría y composición corporal de los triatletas.

Grupo	T1	T2	P (TxG)	η ² p
Masa corporal (kg)				
PLG	76,36 ± 7,03	76,31 ± 6,76	0,582	0,074
CITG	79,08 ± 7,36	77,70 ± 7,09		
BRG	74,11 ± 6,93	74,00 ± 6,90		
CIT+BRG	74,19 ± 11,26	74,29 ± 11,38		
IMC (kg/m²)				
PLG	24,01 ± 1,89	23,98 ± 2,03	0,407	0,115
CITG	24,52 ± 2,53	23,99 ± 2,25		
BRG	23,25 ± 1,86	23,25 ± 1,85		
CIT+BRG	22,54 ± 1,63	22,53 ± 1,59		
Masa muscular (kg)				
PLG	69,39 ± 5,42	69,65 ± 5,73	0,406	0,112
CITG	72,35 ± 6,21	66,05 ± 5,77		
BRG	67,38 ± 6,46	67,95 ± 6,31		
CIT+BRG	68,49 ± 9,49	68,49 ± 9,20		
Masa grasa (%)				
PLG	9,01 ± 2,05	8,66 ± 2,14	0,121	0,203
CITG	8,45 ± 1,44	7,77 ± 1,32		
BRG	9,07 ± 2,09	8,18 ± 0,96		
CIT+BRG	7,52 ± 1,66	7,58 ± 2,17		

Los datos se presentan como media ± desviación estándar. P (T × G): interacción grupo-tiempo ($p < 0,05$) mediante ANOVA de medidas repetidas de dos factores.

La figura 16 muestra la distancia recorrida en el CP tanto en T1 como en T2. Se observan diferencias significativas en la interacción grupo-tiempo en este parámetro ($p = 0,002$; $\eta^2p = 0,418$). Además, se observaron aumentos significativos ($p < 0,05$) entre los momentos del estudio en la distancia recorrida (T1: $2953,1 \pm 372,7$ vs. T2: $3079,6 \pm 423,5$ m) en el CIT-BRG.

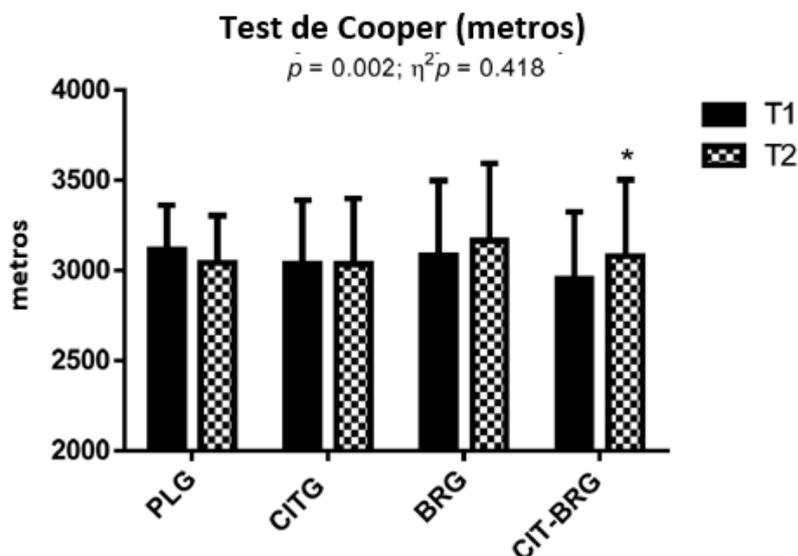


Figura 16. Distancia recorrida en el CP por los triatletas en T1 y T2 (tras 9 semanas de suplementación). Los datos se presentan como media \pm desviación estándar. *: Diferencias significativas con respecto a T1. $p < 0,05$.

Los marcadores EIMD no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) en la interacción grupo-tiempo (Tabla 14). Sin embargo, se observaron diferencias significativas entre T1 y T2 para el BR en creatinina (T1: $0,92 \pm 0,11$ vs. T2: $0,88 \pm 0,09$ mg/dL; $\eta^2p: 0,063$) y LDH (T1: $445,38 \pm 247,59$ vs. T2: $393,88 \pm 63,37$ UI/L; $\eta^2p: 0,083$).

Tabla 14. Marcadores séricos del daño muscular inducido por el ejercicio de los triatletas en T1 y T2 (después de 9 semanas).

Grupo	T1	T2	P (TxG)	η^2p
Urea (mg/dl)				
PLG	37,38 ± 6,63	38,00 ± 4,81	0,26	0,131
CITG	37,06 ± 6,92	34,58 ± 8,72		
BRG	38,38 ± 4,03	37,50 ± 2,83		
CIT+BRG	36,75 ± 8,55	41,13 ± 6,06		
Creatinina (mg/dl)				
PLG	0,91 ± 0,10	0,92 ± 0,10	0,601	0,063
CITG	0,93 ± 0,57	0,92 ± 0,11		
BRG	0,92 ± 0,11	0,88 ± 0,09		
CIT+BRG	0,91 ± 0,09	0,91 ± 0,11		
AST (UI/L)				
PLG	33,50 ± 9,06	37,13 ± 16,31	0,321	0,115
CITG	30,50 ± 9,09	24,38 ± 3,93		
BRG	39,38 ± 17,39	29,36 ± 4,79		
CIT+BRG	37,38 ± 12,02	29,75 ± 7,91		
ALT (UI/L)				
PLG	28,00 ± 14,25	29,63 ± 13,76	0,327	0,114
CITG	25,88 ± 9,43	22,00 ± 5,40		
BRG	36,25 ± 29,36	23,38 ± 8,45		
CIT+BRG	33,25 ± 19,83	22,63 ± 7,65		
GGT (UI/L)				
PLG	16,88 ± 4,55	18,50 ± 6,37	0,699	0,049
CITG	18,88 ± 8,04	19,88 ± 8,94		
BRG	15,50 ± 3,46	18,63 ± 6,41		
CIT+BRG	19,75 ± 5,92	20,25 ± 8,78		
LDH (UI/L)				
PLG	438,86 ± 48,13	367,38 ± 77,77	0,498	0,083
CITG	330,88 ± 90,99 ^a	324,00 ± 71,97		
BRG	445,38 ± 247,59 ^b	393,88 ± 35,79*		
CIT+BRG	431,00 ± 75,05	411,88 ± 63,37		
CK (UI/L)				
PLG	319,50 ± 297,34	175,00 ± 51,77	0,238	0,138
CITG	327,63 ± 287,07	157,25 ± 60,78		
BRG	328,38 ± 247,59	208,88 ± 98,22		
CIT+BRG	379,38 ± 336,75	288,25 ± 209,86		

Los datos se presentan como media ± desviación estándar. P (T × G): interacción grupo-tiempo ($p < 0,05$) por ANOVA de dos medidas repetidas.

*: Diferencias significativas entre las dos fases (T1 vs. T2) ($p < 0,05$).

a: Diferencias significativas con respecto al PLG ($p < 0,05$).

b: Diferencias significativas con respecto al respecto al CITG ($p < 0,05$).

La tabla 15 muestra diferencias significativas en la interacción grupo-tiempo para cortisol ($p = 0,044$; $\eta^2p = 0,247$) y T/C ($p = 0,005$; $\eta^2p = 0,359$). En este sentido, se observó una diferencia significativa para T/C en CIT-BRG con respecto a PLG en T2. Por otro lado, se observó una disminución significativa de los niveles de testosterona y T/C en PLG, CITG y BRG después de 9 semanas de suplementación (Tabla 15).

Tabla 15. Estado de la testosterona y el cortisol y relación testosterona/cortisol de los triatletas en T1 y T2 (después de 9 semanas).

Grupo	T1	T2	P (TxG)	η^2p
Testosterona (ng/mL)				
PLG	7,66 ± 2,26	4,51 ± 1,21*	0,116	0,188
CITG	7,77 ± 1,10	5,50 ± 1,36*		
BRG	7,11 ± 1,26	4,92 ± 1,16*		
CIT+BRG	7,55 ± 1,06	6,69 ± 2,50		
Cortisol (µg/dL)				
PLG	15,76 ± 1,34	20,37 ± 3,47*	0,044	0,247
CITG	16,03 ± 2,48	18,20 ± 3,80		
BRG	15,89 ± 3,19	17,84 ± 3,76		
CIT+BRG	16,94 ± 2,33	15,30 ± 5,53		
Ratio testosterona/cortisol				
PLG	49,07 ± 15,92	22,87 ± 8,12*	0,005	0,359
CITG	49,13 ± 7,84	31,25 ± 11,02*		
BRG	46,95 ± 13,83	28,63 ± 8,38*		
CIT+BRG	45,97 ± 13,16	51,66 ± 30,00 ^a		

Los datos se presentan como media ± desviación estándar. P (T × G): interacción grupo-tiempo ($p < 0,05$) mediante ANOVA de dos medidas repetidas.

*: Diferencias significativas entre las dos fases (T1 vs. T2) ($p < 0,05$).

a: Diferencias significativas con respecto al PLG ($p < 0,05$).

La figura 17 muestra el cambio porcentual en la distancia recorrida en el CP para cada uno de los grupos de estudio. Se observan diferencias significativas en este parámetro ($p = 0,002$; $\eta^2p = 0,424$). Concretamente, CIT-BRG presentó un valor significativamente mayor en el % de cambio que PLG y CITG ($p < 0,05$).

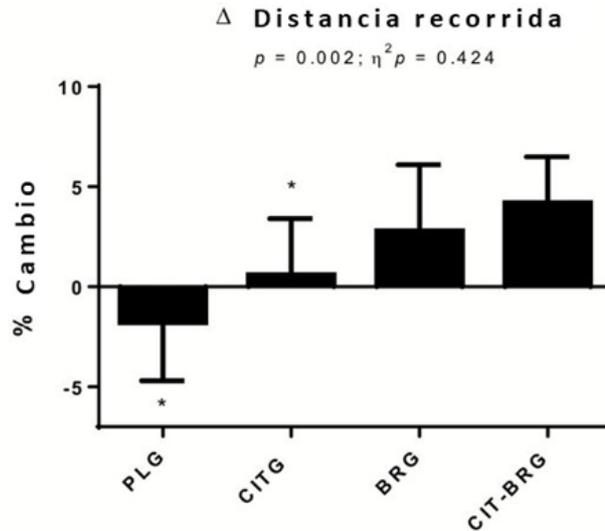


Figura 17. Cambios porcentuales durante el estudio en la distancia estimada recorrida en el CP en los grupos. Los datos se presentan como media \pm desviación estándar. Δ : $((T2 - T1)/T1) \times 100$. *: Diferencias significativas con respecto al CIT-BRG. $p < 0,05$.

La figura 18 indica diferencias significativas en el cambio porcentual de cortisol ($p = 0,049$; $\eta^2p = 0,257$) entre PLG y CIT-BRG. Además, el cambio porcentual de T/C presentó diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,018$; $\eta^2p = 0,297$) entre CIT-BRG y PLG. En el caso de la testosterona, no hubo diferencias significativas entre los grupos en el cambio porcentual ($p = 0,149$).

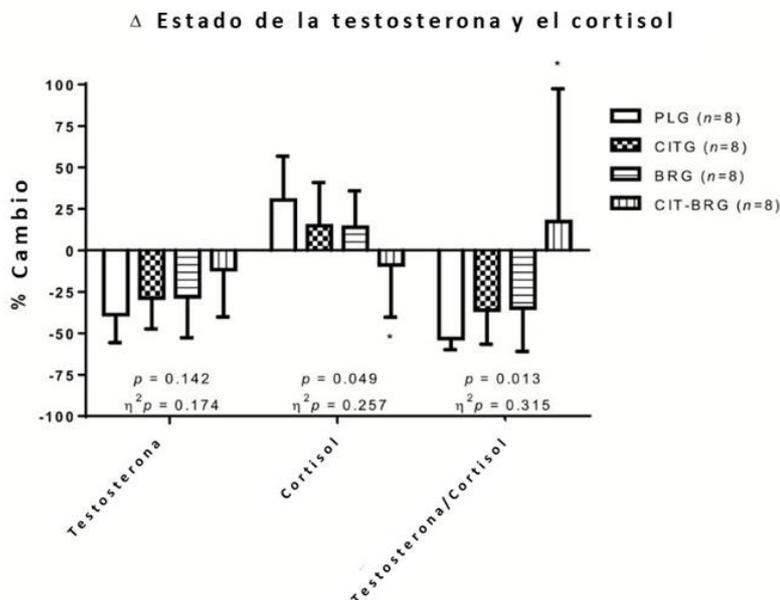


Figura 18. Cambios porcentuales durante el estudio en el estado hormonal del cortisol y la testosterona y la relación testosterona/cortisol en los triatletas. Los datos se presentan como media \pm desviación estándar. Δ : $((T2 - T1)/T1) \times 100$. *: Diferencias significativas con respecto al PLG. $p < 0,05$.

4. DISCUSIÓN



“Solo se ha perdido cuando se deja de luchar”

4.1. DISCUSIÓN ARTÍCULO 1

El objetivo principal de esta revisión sistemática y metaanálisis fue analizar y resumir la evidencia actual sobre los efectos de la suplementación con ARG en el rendimiento atlético aeróbico y anaeróbico de alta intensidad. Los resultados obtenidos indican principalmente que los protocolos de suplementación específicos de ARG condujeron a mejoras significativas tanto en el rendimiento anaeróbico ($>VO_{2máx}$) como en el aeróbico ($\leq VO_{2máx}$). En cuanto a la dosis, se observan diferencias entre los protocolos agudos y crónicos, lo que sugiere que ambas estrategias podrían tener mecanismos y respuestas diferentes. En esa línea, 0,15 g/kg de masa corporal ($\approx 10-11$ g) de suplementos de ARG ingeridos entre 60 y 90 min antes del ejercicio (protocolo agudo) han demostrado mejorar los resultados de rendimiento anaeróbico y aeróbico. Además, una suplementación de ARG de 1,5-2 g/día durante 4-7 semanas (protocolo crónico) y dosis más largas (10-12 g/día durante 8 semanas) también pueden ser beneficiosas para mejorar el rendimiento aeróbico y anaeróbico, respectivamente.

En cuanto al conocido papel de la ARG relacionado con la producción de NO y el aumento del flujo sanguíneo y la vasodilatación, se ha sugerido que tiene un impacto favorable en las adaptaciones al entrenamiento (76). Sin embargo, existen pocos estudios que analicen estos efectos. De hecho, debido a los limitados y controvertidos resultados sobre la suplementación con ARG en las variables de rendimiento, la suplementación con ARG no se incluye como una ayuda ergogénica con evidencia sólida (106,107). En esta línea, aunque 6 g/día parece ser el protocolo más utilizado, no existen protocolos claros de tiempos y dosis relacionados con el rendimiento deportivo. Si bien, los resultados obtenidos en esta revisión sistemática y metaanálisis indicaron que una suplementación de ARG de 6 g/día no tuvo efectos significativos en los resultados de rendimiento aeróbico y anaeróbico, las dosis más altas (≈ 10 g) parecen ser más efectivas en los resultados de rendimiento tanto anaeróbico como aeróbico. En este sentido, estos resultados dependen del momento de la ingesta de ARG. Dado que los niveles sanguíneos de NO_3^- y NO_2^- aumentan entre 2,5 y 3 h después de la ingesta de suplementos ricos en NO_3^- (236), y que las pruebas farmacocinéticas de ARG han mostrado una concentración plasmática máxima entre 30 y 90 min después de la ingesta (237), los protocolos de ingesta aguda de ARG y otros suplementos relacionados con el metabolismo del NO han sido analizados en varios estudios. Sin embargo, los protocolos de suplementación crónica parecen ser necesarios para obtener adaptaciones importantes en otros suplementos de NO como el BJ o el nitrato (90). El presente trabajo sugiere que cuando se utilizan protocolos agudos, se necesitan dosis más altas (≈ 10 g) para mostrar mejoras en el rendimiento aeróbico, mientras que cuando se siguen protocolos de ingesta crónica, dosis más bajas (1,5-3 g/día) pueden ser suficientes para mostrar beneficios. Por lo tanto, sugiere que

el estudio de las diferencias entre los protocolos de suplementación aguda y crónica podría ser esencial para entender qué dosis es más adecuada para optimizar el rendimiento.

Las diferencias fisiológicas y metabólicas entre las disciplinas deportivas aeróbicas y de alta intensidad son relevantes (129). Si bien el rendimiento anaeróbico depende de la capacidad de sintetizar rápidamente ATP, principalmente a través del sistema de fosfágeno o la glucólisis citosólica (superando la capacidad de oxidar el lactato), el rendimiento en deportes aeróbicos como el ciclismo de ruta o la carrera de resistencia está determinado por la capacidad de oxidar el lactato y suministrar las demandas de ATP mediante la fosforilación oxidativa (131,132,238). En esta línea, la nutrición y la suplementación representan una herramienta importante para optimizar el rendimiento deportivo, especialmente en las disciplinas aeróbicas (107,239). Dado que la vía del NO está involucrada en algunos mecanismos fisiológicos aeróbicos beneficiosos, como la mejora de la economía, la eficiencia bruta, la cinética ventilatoria y las respuestas metabólicas, tratar de optimizarlos con la suplementación podría ser una estrategia adecuada (91). La ARG desempeña un papel esencial en la síntesis de NO endógeno y, por tanto, en algunas respuestas fisiológicas importantes. Por consiguiente, la suplementación con ARG podría conducir a mejorar el entrenamiento y el rendimiento competitivo debido a la mayor capacidad para mantener el trabajo durante el ejercicio prolongado (73,109,111). Por ello, la suplementación con ARG podría recomendarse para mejorar el rendimiento de las disciplinas deportivas anaeróbicas y aeróbicas.

4.1.1. Efecto sobre el rendimiento anaeróbico ($>VO_{2m\acute{a}x}$)

Los esfuerzos explosivos (6 s), de alta intensidad (<1 min) e intensivos (<5 min) están determinados por la potencia y la capacidad anaeróbica, pero existen algunas diferencias en cuanto a las demandas metabólicas y fisiológicas entre ellos (129,131). Desde el punto de vista metabólico, los principales sustratos combustibles para sintetizar rápidamente ATP en el ejercicio anaeróbico son la PCr y el lactato. Por lo tanto, el contenido de creatina intramuscular, la potencia glucolítica y la capacidad amortiguadora son factores determinantes (131,132). Por otro lado, desde el punto de vista fisiológico, los mecanismos neuromusculares, la función de contracción muscular y los factores estructurales como la composición de las fibras musculares (tipo II) son esenciales para garantizar un rendimiento de alta intensidad (132). En esta línea, los suplementos relacionados con la vía del NO han demostrado, entre otros efectos, tener un impacto específico en las fibras de tipo II mejorando el rendimiento anaeróbico (240). Además, la suplementación con ARG puede tener efectos directos mejorando la resíntesis de creatina y reduciendo la acumulación de lactato (134,241).

En cuanto al rendimiento anaeróbico, las pruebas de medición más utilizadas son el test de Wingate, las pruebas de tiempo cortas (1-2 km), ejercicios isocinéticos, el RM y, en los deportes de equipo, el RSAT (242–244). En este sentido, dosis elevadas (12 g/d) de suplementación crónica de ARG (8 semanas) condujeron a mejoras significativas en los parámetros del test de Wingate (potencia máxima, tiempo hasta la potencia máxima y tasa de fatiga), así como a una mejora del rendimiento RM en sujetos bien entrenados en resistencia (118). Sin embargo, aunque no observaron efectos significativos sobre el tiempo total de sprint durante el RSAT (230) y sobre el tiempo para completar y la potencia media de salida durante una TT de 1 km (228), dosis elevadas de ARG (0,15 g/kg \approx 10-11 g) ingeridas 60-90 min antes del ejercicio condujeron a una clara tendencia de mejora en estos parámetros anaeróbicos. En la misma línea, 2-6 g/d de suplementación aguda de ARG (60-90 min antes del ejercicio) no mostraron mejoras significativas en el rendimiento en el test de Wingate, en el sprint de 20" y en la TT de 1 km, aunque la tendencia en esta última prueba también fue positiva (227,228). Asimismo, 6 g/d durante 7-14 días no mostraron mejoras significativas en el sprint de 1 min en bicicleta en hombres con actividad recreativa (83) y en capacidad de sprint anaeróbico (6 sprints consecutivos) en futbolistas (138). Además, la suplementación con 3,7-6 g/d de ARG no mostró efectos beneficiosos significativos con respecto a los protocolos agudos (30-80 min) o crónicos (8 semanas) sobre el rendimiento de la fuerza y la capacidad de velocidad (232). Aunque podría ser razonable esperar mayores mejoras anaeróbicas con la suplementación de ARG debido a la mejora del flujo sanguíneo y a la reducción de la acumulación de lactato, entre otros mecanismos, los resultados positivos obtenidos en los ensayos mostraron pequeños efectos significativos, pero estos tuvieron una tendencia que fue clara en algunos de los ensayos analizados. Sin embargo, cuando se realizó un análisis global, se demostró que estas mejoras estaban representadas con una potencia estadística mayor y significativa.

Por lo tanto, estos resultados sugieren que, independientemente del nivel de condición física y del momento de la suplementación, las dosis más bajas son insuficientes para mejorar el rendimiento anaeróbico de alta intensidad y podrían ser necesarias dosis más altas tanto en protocolos agudos como crónicos. En este sentido, una suplementación con 0,15 g/kg de peso corporal tomada 60-90 min antes del ejercicio (protocolo agudo) o una suplementación con 10-12 g de ARG durante 8 semanas (protocolo crónico) podría conducir a mejoras en el rendimiento anaeróbico.

4.1.2. Efecto sobre el rendimiento aeróbico ($\leq \text{VO}_{2\text{máx}}$)

El rendimiento aeróbico requiere una gran flexibilidad metabólica y una gran capacidad cardiovascular que supla las necesidades de oxígeno durante el ejercicio prolongado (238,245). Aunque la predisposición genética representa un requisito importante para rendir en las disciplinas aeróbicas, la búsqueda de protocolos de entrenamiento y nutrición para mejorar el rendimiento en disciplinas tan exigentes es esencial (246). Más allá de las ayudas nutricionales y de hidratación, como los alimentos ricos en CHO y las bebidas con electrolitos, a menudo se utilizan ayudas ergogénicas como la cafeína o las ayudas vasodilatadoras (103). En este sentido, la suplementación crónica de 1,5 a 3 g/d de ARG (4-7 semanas) mejoró la capacidad de trabajo físico en el umbral de fatiga en sujetos amateurs y no entrenados (73,111), mostrando una menor concentración de metabolitos relacionados con la fatiga, como el amoniaco y el lactato, así como una mayor potencia muscular, resistencia y flujo sanguíneo (105). Por otro lado, un rango de 2,85-5,7 g/d de suplementación con ARG durante 4-8 semanas no mostró efectos estadísticos sobre el tiempo hasta el agotamiento en la carrera y el ciclismo en atletas bien entrenados en resistencia (98,231). Incluso una dosis más alta de 12 g/d de suplementación con ARG durante una duración más prolongada (8 semanas), no presentó ninguna mejora en el tiempo hasta el agotamiento mientras se ejecutaba un protocolo de prueba incremental en atletas entrenados en resistencia (118). Estos resultados controvertidos podrían explicarse atendiendo a la condición física de los sujetos, teniendo en cuenta que la suplementación con ARG podría tener menores efectos positivos en sujetos bien entrenados en comparación con los no entrenados, como se ha documentado en otros suplementos vasodilatadores (162).

En cuanto a la suplementación aguda, 0,15 g/kg ($\approx 10-11$ g) de ARG ingeridos entre 60 y 90 min antes del ejercicio, condujeron a mejorar el tiempo hasta el agotamiento y la producción de potencia en la prueba de resistencia de ciclismo tanto en sujetos entrenados como no entrenados (109,228). Estos efectos podrían explicarse debido a la reducción de los componentes lentos del VO_2 , el uso de reservas anaeróbicas, la reducción de los metabolitos de la fatiga y el costo de ATP en la producción de fuerza muscular (109,228). Sin embargo, la suplementación de 5,7-6 g de ARG entre 30-90 min antes del ejercicio, no pareció mostrar efectos beneficiosos en el tiempo total de carrera y en la producción media de fuerza en el VT tanto en sujetos entrenados en resistencia como en sujetos con actividad recreativa (123,228,233,235). Estas diferencias sugieren que cuando se trata de mejorar las respuestas fisiológicas y metabólicas relacionadas con la mejora del rendimiento aeróbico, deberían seguirse protocolos de suplementación aguda de ARG con dosis más altas (10-11 g absolutos o 0,15 g/kg), independientemente de la condición física.

Los protocolos de suplementación crónica y aguda podrían tener diferentes mecanismos fisiológicos de acción y estos pueden estar estrecha y directamente relacionados con las diferentes dosis de ARG. En este sentido, los resultados obtenidos en esta revisión sistemática y metaanálisis demostraron que el rendimiento aeróbico podría optimizarse cuando la suplementación con ARG se sigue tanto en protocolos agudos (dosis más altas) como crónicos (dosis más bajas). Sin embargo, estos efectos deben tomarse con precaución debido al sesgo de publicación encontrado en los estudios incluidos sobre el rendimiento aeróbico. Por último, teniendo en cuenta que se han documentado diferentes respuestas fisiológicas en atletas entrenados y no entrenados cuando se ingiere otro suplemento relacionado con el NO (BJ) (90), se sugiere que las dosis de suplementos de ARG pueden tener que ajustarse en función del nivel de condición física de los sujetos.

4.1.3. Fortalezas, limitaciones y futuras líneas de investigación

El escaso número total de estudios ($n = 18$) realizados en esta revisión sistemática y metaanálisis relacionados con la suplementación de ARG podría representar una limitación. Por otro lado, la exhaustiva metodología seguida por los autores tanto en la revisión sistemática como en el metaanálisis, en lo que respecta a la selección de estudios y al análisis, la interpretación y la cuantificación de resultados, representa también un punto fuerte. De hecho, al evaluar la calidad de la revisión y el metaanálisis según las directrices de AMSTAR, la puntuación obtenida fue de "alta calidad" (247). En la misma línea, este metaanálisis se realizó con una fuerte potencia estadística y confianza, lo que constituye un importante punto a favor. En cuanto a la suplementación, todos los estudios incluidos utilizan únicamente ARG sin otros suplementos, en comparación con un PL, lo que limita la posibilidad de obtener efectos sinérgicos o antagónicos junto con otros compuestos. Además, existen otras limitaciones en cuanto a los protocolos de suplementación, las dosis y el momento. Debido a los resultados controvertidos en torno a la suplementación con ARG y sus efectos en la literatura actual (107), las dosis adecuadas y la duración de la suplementación aún no están bien establecidas. Por ello, se descubrieron algunos protocolos de suplementación y sincronización diferentes y heterogéneos que limitaron la extracción de conclusiones sólidas. Además, los resultados de rendimiento y los protocolos utilizados en los estudios fueron diferentes y, más allá de su clasificación en rendimiento anaeróbico y aeróbico, se encontraron diferencias dentro de cada sección en relación con las vías metabólicas utilizadas principalmente. En la misma línea, la heterogeneidad y el sesgo de las publicaciones obtenidas en los estudios de rendimiento aeróbico hacen que los profesionales deban tomar estos resultados con precaución a la hora de aplicar los resultados analizados a la realidad.

Las futuras líneas de investigación deberían centrarse en homogeneizar los protocolos de suplementación con ARG en cuanto a dosis y tiempos, debido a la diversidad de métodos actuales. A nuestro entender, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se deberían proponer nuevas dosis de ARG a favor de protocolos de suplementación más elevados y crónicos, así como estudiar las diferencias entre sujetos de élite y amateurs. Por último, debería plantearse una nueva línea de investigación que estudie la capacidad de absorción de ARG y los mecanismos implicados en los atletas, ya que esto podría suponer un conocimiento crucial de la suplementación.

4.2. DISCUSIÓN ARTÍCULO 2

Según el conocimiento de los autores, este es el primer estudio que ha evaluado el efecto de la co-suplementación oral a largo plazo (9 semanas) con 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) sobre la fuerza máxima, la prueba de rendimiento de resistencia y la prueba de potencia aeróbica en triatletas masculinos. Los principales resultados indicaron que esta combinación presentaba un incremento grupal en la potencia aeróbica medida por el CP, mostrando un aumento en el $\text{VO}_{2\text{máx}}$ estimado con respecto al PLG y CITG. Por otro lado, aunque el rendimiento de fuerza máxima por HJUMP y DYN, y el rendimiento de fuerza de resistencia por 1-MAT, no mostraron diferencias significativas en la interacción grupo-tiempo, el CIT-BRG mostró una tendencia positiva con respecto a los otros grupos de suplementación en las mismas pruebas. Además, solo el CIT-BRG mostró un aumento significativo en HJUMP y 1-MAT después de 9 semanas de suplementación.

El uso de suplementos nutricionales para mejorar el rendimiento deportivo está cada vez más extendido entre los triatletas (18,248). En este sentido, la CIT (40,82,147–149) y el BR (precursores del NO) (93,156,159,249–251) son dos suplementos nutricionales que podrían ayudar a mejorar el rendimiento en ambos ejercicios, que implican fuerza y resistencia neuromuscular (90,175). Se ha demostrado que el NO puede ayudar a los atletas en funciones estrechamente relacionadas con la regulación de la contracción muscular, el flujo sanguíneo, el consumo máximo de oxígeno durante el ejercicio, las adaptaciones a nivel mitocondrial y la homeostasis de la glucosa y el Ca^{2+} (90,115,252,253), lo que a largo plazo puede mejorar el rendimiento deportivo (254). Estos precursores del NO también pueden mejorar el rendimiento en pruebas de fuerza máxima y de resistencia y de potencia aeróbica mediante un aumento de la producción de ATP, una mejora de la función contráctil y una disminución del amonio, etc. (151). Además, ambos suplementos parecen tener otras acciones en el metabolismo muscular que podrían ayudar al rendimiento de la fuerza y la potencia aeróbica.

Según el conocimiento de los autores, no se han estudiado en profundidad los efectos de la combinación a largo plazo de CIT más BR en el rendimiento de fuerza máxima y de resistencia (96). Sin embargo, algunas investigaciones que han evaluado los efectos agudos de estos suplementos individualmente han encontrado mejoras en el rendimiento de fuerza. Mosher et al. (159) encontraron diferencias significativas en el número de repeticiones de press de banca realizadas a una intensidad del 60% de su RM durante 3 series hasta el fallo, con 2 min de intervalo de descanso entre series, comparando el grupo suplementado con 70 mL de BR y el grupo PLG. En la misma línea, Haider y Folland presentaron diferencias significativas en el número de repeticiones en prensa de piernas tras 7 días de suplementación con una BR concentrada rica en NO_3^- (70 mL de BR) tomada 2,5 h antes

del ejercicio (192). Estos autores indicaron que los efectos observados se debían a una mejora de las propiedades contráctiles del músculo esquelético humano. En concreto, la suplementación con NO_3^- mejoró el acoplamiento excitación-contracción a bajas frecuencias de estimulación mejorando la producción de fuerza explosiva (192).

Por otro lado, y en relación con la capacidad de resistencia-fuerza, Pérez-Guisado demostró un aumento significativo en el número de repeticiones de press de banca realizadas y una reducción de la fatiga a las 24 y 48 h de la ingesta de 8 g de CIT una hora antes del entrenamiento (219). En la misma línea, Wax et al. (40) obtuvieron resultados satisfactorios al realizar un protocolo similar aumentando el rendimiento de la resistencia de la parte superior del cuerpo en varones entrenados en edad universitaria. Además, un reciente metaanálisis concluye que la CIT podría tener un ligero efecto positivo en el rendimiento de fuerza, pero plantea muchas dudas sobre las dosis efectivas y el modo de uso, aunque indica que el enfoque podría tener sentido especialmente en atletas de alta competición (165). En el presente estudio, aunque no hubo diferencias significativas entre los grupos en ambos rendimientos de fuerza analizados, el CIT-BRG presentó una mejor tendencia con respecto a otros grupos en las pruebas de salto y 1-MAT. Estos resultados pudieron confirmarse con un aumento significativo del CIT-BRG entre los momentos del estudio en estas pruebas de fuerza, reforzando la hipótesis original en la que se consideraba que ambos suplementos podían actuar de forma complementaria mejorando el rendimiento de la fuerza a través de una mejora del acoplamiento excitación-contracción y evitando la acumulación de metabolitos de fatiga (160,192). Sin embargo, deben realizarse más estudios con muestras más amplias para determinar si esta tendencia es efectiva.

Del mismo modo, como el rendimiento de fuerza, los efectos de la combinación a largo plazo de suplementación de CIT más BR sobre la potencia aeróbica aún no se han descrito. Sin embargo, algunos autores han demostrado el efecto de ambos suplementos por separado. Nyakayiru et al. indicaron que el aumento de la distancia recorrida en una prueba intermitente (YO-YO 1R1) fue mayor en el grupo suplementado con 140 mL de BR (~800 mg NO_3^- /día) durante 6 días (93). Otros autores han encontrado mejoras similares en contrarreloj de 10 km de ciclismo cuando los ciclistas fueron suplementados con 12,4 mmol NO_3^- /día y ~8 mmol NO_3^- /día durante 7 días, respectivamente (152,156). En cuanto a la suplementación con CIT, Suzuki et al. mostraron un aumento significativo de la distancia recorrida en una contrarreloj ciclista de 4 km después de tomar 2,4 g de CIT durante 7 días (82). En la misma línea, aunque a intensidades inferiores que la potencia aeróbica máxima, Stanelle et al. realizaron una prueba de distancia incremental de 40 km en la que mostraron una reducción del 5,2% en el tiempo total en comparación con el grupo PLG cuando se administraron 6 g de CIT durante 7 días, lo que puede explicar efectos fisiológicos y metabólicos similares (147). En este caso, al igual que ocurrió en el rendimiento de fuerza máxima y de resistencia, la combinación

de ambos suplementos mostró que el CIT-BRG presentaba un aumento significativo después de 9 semanas, con respecto a otros grupos, en la potencia aeróbica.

Estos resultados pueden explicarse por la suma de las mismas y diferentes formas en que ambos suplementos pueden ser beneficiosos en el rendimiento deportivo. Entre los efectos fisiológicos reportados de la ingesta de estos suplementos, los autores consideran como efectos potenciales que podrían explicar los resultados la mejor dinámica del VO_2 , mayor vasodilatación y entrega de nutrientes al músculo, menor acumulación de metabolitos de fatiga, mayor ATP y tasa de oxidación del piruvato y una mejor función contráctil (146). Además, esto podría reforzarse con una suplementación a largo plazo con una dosis más baja, lo que podría mantener la reserva de NO_3^- en el músculo y la producción de ON, y evitar la disminución del ON, ya que el ejercicio puede afectar a la biodisponibilidad del NO debido tanto a la disminución de la actividad del NO como a la falta de sustrato de NO (98,184).

En este sentido, la sensibilidad del músculo esquelético a la disponibilidad de NO_3^- y los cambios dinámicos de este, junto con el NO_3^- durante el ejercicio y la posterior recuperación (186), ciertamente apuntan a un papel fisiológico que ha sido subestimado hasta la fecha, siendo el músculo esquelético fundamental para el mantenimiento del NO en el cuerpo humano (253,255). De hecho, se ha demostrado que el músculo esquelético tiene la capacidad de acumular, transferir y metabolizar NO_3^- y NO_2^- (256). Por lo tanto, la suplementación prolongada con este tipo de ayuda ergogénica (BR) aumentaría los niveles de NO_3^- almacenado, favorable para la producción de NO y, posteriormente, asociado a adaptaciones a largo plazo (257). En este sentido, también se ha demostrado que la administración aguda o crónica de NO_3^- por parte de los deportistas mejora las propiedades contráctiles del músculo esquelético humano, en particular la fuerza de contracción, la tasa de desarrollo de la fuerza, la velocidad de acortamiento máxima estimada y la potencia máxima del músculo (160). Todavía se desconocen los mecanismos exactos responsables del aumento de la contractilidad del músculo humano producido por el NO_3^- , pero las alteraciones de la señalización del Ca^{2+} debidas al aumento de la biodisponibilidad podrían desempeñar un papel fundamental (160,161). Todos estos mecanismos actúan probablemente de forma complementaria mejorando el rendimiento deportivo debido a sus efectos vasodilatadores, moduladores de la función muscular y de la respiración mitocondrial, a los que se atribuye la mejora de ciertas capacidades relacionadas con el rendimiento deportivo (31).

Además del efecto sobre el NO, se ha demostrado que la CIT estimula la MPS mediante la activación de mTOR a través de la vía de la fosfatidilinositol 3-cinasa/proteína cinasa activada por mitógenos/proteína de unión 4E 1 (PI3K/MAPK/4E-BP1) (258), y mediante el aumento de la producción de ARG, que promueve la secreción de la GH (259). Asimismo, el aumento de la

producción de ARG mejorará los niveles de creatina intramuscular, lo que permitirá un aumento de las reservas de PCr, siendo un aminoácido clave en el ciclo de la urea, y puede aumentar la eliminación de amonio, lo que conduce a mejoras en el rendimiento de alta intensidad debido a la disminución de la acumulación de lactato y el aumento de la resíntesis de ATP (260), por lo que reduce así la fatiga acumulada durante el ejercicio (261). La CIT es un activador clave de la MPS durante los periodos de entrenamiento de alta intensidad, a través de la activación de la vía mTOR debido a su papel clave en la regulación de la homeostasis del nitrógeno, lo que puede desempeñar un papel potencial en la recuperación y asimilación de la carga de entrenamiento (262,263). Teniendo en cuenta que la CIT se coproduce con el NO como producto de la actividad de la NOS a través del ciclo CIT-NO, la administración de CIT exógena podría representar una alternativa potencial para aumentar la cantidad de ARG suministrada al NO. En este sentido, el efecto a largo plazo de la CIT, junto con su potencial efecto sobre la mTOR, podría repercutir en la producción de testosterona al potenciar el NO y, por tanto, aumentar el flujo sanguíneo a través de los testículos (183). En consecuencia, promovería un transporte más eficiente de O₂ a la sangre durante la contracción muscular, obteniendo una mejor respuesta del músculo esquelético (264). Además, la CIT mitiga la producción de lactato permitiendo la producción de piruvato para la utilización de la energía, lo que conduce a un aumento de la eficiencia en la producción de ATP, que puede ser determinante en el rendimiento de alta intensidad (146). Esta relación puede explicar el aumento de la distancia recorrida mostrado en este estudio, siendo la CIT un aminoácido clave en el ciclo de la urea, pudiendo así aumentar la eliminación de amonio, lo que llevaría a estas mejoras debido a la disminución del lactato en sangre y al aumento de la PCr y la resíntesis de ATP (260).

4.2.1. Limitaciones, puntos fuertes y futuras investigaciones

Hay que tener en cuenta que es difícil obtener muestras de mayor tamaño en deportistas, ya que no muchos tienen la disponibilidad para cumplir con las instrucciones de entrenamiento y suplementación requeridas por el estudio. Además, el muestreo mediante un procedimiento de muestreo conveniente y no probabilístico puede producir resultados que no sean representativos del resto de la población. Estas limitaciones pueden sub-representar los resultados y pueden afectar a los resultados del estudio. No obstante, el propósito de este estudio no es trasladar la información a la población general.

Sin embargo, la metodología utilizada en este ensayo, aleatorizado, doble ciego y controlado con PL es su punto fuerte más importante. Además, otro punto fuerte fue el control dietético de los triatletas, así como el de la composición corporal durante todo el proceso de la intervención, de modo

que estos resultados no influyeron en los resultados finales basados en los datos actuales.

Futuras investigaciones deberán continuar el estudio de los efectos a largo plazo de esta combinación en diferentes pruebas relacionadas con la fuerza neuromuscular, con el fin de ampliar los conocimientos existentes sobre esta posible combinación. También debería examinar la eficacia de estos suplementos en atletas experimentados, para determinar si el uso de estos suplementos como parte del tratamiento podría aumentar el rendimiento deportivo. Además, debería analizar cómo esta posible combinación afecta a la población femenina para deportes anaeróbicos, dado que este estudio solo se centró en los hombres y su rendimiento.

4.2.2. Aplicaciones prácticas

Esta investigación podría ser de interés para los médicos y los profesionales de la nutrición que deseen mejorar el rendimiento de los atletas en las pruebas de potencia aeróbica. Teniendo en cuenta que 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) durante un periodo de 9 semanas podrían aumentar la distancia recorrida y, por tanto, el $\text{VO}_{2\text{máx}}$, podrían considerarse como fases de suplementación en periodos de práctica intensiva.

4.3. DISCUSIÓN ARTÍCULO 3

Este estudio se planificó para evaluar el efecto de la combinación a largo plazo (9 semanas) de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) sobre el estado de recuperación por la distancia recorrida en el CP, los marcadores EIMD séricos y la testosterona y el cortisol en triatletas masculinos. Los marcadores EIMD (urea, creatinina, AST, ALT, GGT, LDH, CK) no mostraron diferencias significativas en la interacción grupo-tiempo. Sin embargo, los triatletas mostraron una interacción grupo-tiempo significativamente mejor en la distancia cubierta en el CP y el estado hormonal anabólico/catabólico en el CIT-BRG al evitar un aumento del cortisol y una mejor relación T/C. Además, mientras que el CITG y el BRG mostraron un descenso significativo de los niveles de testosterona, la suplementación con CIT más BR evitó el descenso de esta hormona anabólica. Estos resultados significativos podrían estar motivados por el efecto sinérgico que ambos suplementos proporcionaron sobre las variables utilizadas para determinar el estado de recuperación.

El equilibrio entre las cargas de entrenamiento y la recuperación son factores clave para mejorar el rendimiento deportivo (63). Para evaluar y controlar este equilibrio, y con la intención de evitar la fatiga y mantener un rendimiento adecuado, se utilizan numerosos parámetros, como los marcadores EIMD y las hormonas anabólicas/catabólicas (265,266). Aunque existe una intensificación aguda de los marcadores EIMD después del ejercicio (101,267), el mantenimiento a largo plazo de valores elevados del EIMD podría indicar un estado de fatiga crónica y una adaptación inadecuada al entrenamiento (268). Además, se ha observado que el estado de las hormonas anabólicas/catabólicas se modifica después del ejercicio debido a un efecto agudo (266,269). Sin embargo, las variaciones a largo plazo de estas hormonas pueden ser indicadores de una adecuada adaptación endógena o, por el contrario, de un estado de fatiga y, por lo tanto, de un deterioro del rendimiento deportivo (270). La testosterona es una hormona anabólica y androgénica segregada por el eje hipotálamo-hipófisis-testicular, y su aumento especifica un estado anabólico general (271). Sin embargo, el cortisol, segregado por el eje hipotálamo-hipófisis-suprarrenal, es una hormona esteroidea considerada como un factor que indica estrés acumulado, y por tanto, su aumento sugiere una acumulación de estrés o catabolismo (272). En consecuencia, un aumento de la testosterona y/o una disminución del cortisol conduciría a un aumento de la relación testosterona/cortisol, como indicador de adaptación al entrenamiento, indicando así una mejor recuperación endógena, mientras que una disminución indicaría el estado de fatiga (269,273). Para conseguir estos efectos, se han propuesto algunos suplementos que promueven la vía del NO, como la CIT y el BR (146).

Se ha demostrado que el NO puede mejorar el estado de recuperación a través de ciertos mecanismos (274), como el aumento de la síntesis proteica a través de la vasodilatación de las arterias y venas del músculo esquelético que mejoran el flujo de nutrientes a los músculos, lo que a largo plazo favorece el crecimiento y la reparación muscular (275). Además, se ha sugerido que el NO probablemente promueve la angiogénesis en los tejidos al regular la expresión del factor de crecimiento endotelial vascular (113). Además, se ha demostrado que el músculo esquelético tiene la capacidad de almacenar, transportar y metabolizar NO_3^- y NO_2^- (256). Por lo tanto, la suplementación crónica con suplementos precursores de NO (CIT y BR) aumentaría los niveles de NO_3^- almacenados en el músculo esquelético que es beneficioso para la producción de NO (257). Todos estos mecanismos mencionados podrían probablemente funcionar de forma complementaria, potenciando la recuperación endógena. Una producción más eficiente de energía durante el ejercicio reduciría la fatiga y, por tanto, disminuiría el EIMD mediante un aumento de la síntesis proteica (48). Esta mejora de la regeneración conduciría a una disminución del estrés y, por tanto, a un estado catabólico reducido, que se reflejaría en las hormonas anabólicas/catabólicas (175).

Además del efecto sobre el NO, se ha descubierto que la CIT estimula la MPS mediante la activación de mTOR a través de la vía PI3K/MAPK/4E-BP1 (258) y el aumento de la producción de ARG, que promueve la secreción de la GH (276). Asimismo, el aumento de la producción de ARG mejorará los niveles de creatina intramuscular, lo que también permitirá un aumento de las reservas de PCr, contribuyendo al suministro de energía a través de una regeneración más eficiente del ATP y disminuyendo la fatiga, lo que se traduce en una disminución del EIMD después de un entrenamiento de alta exigencia (146). Además, al formar parte del ciclo de la urea, la CIT facilita el funcionamiento de este ciclo, ayudando a reducir la acumulación de amonio y la concentración de lactato en sangre, mejorando la capacidad de eliminación de estas sustancias y, por tanto, reduciendo la fatiga provocada por su acumulación (261).

Según el conocimiento de los autores, no se han estudiado en profundidad los efectos de la combinación a largo plazo de la suplementación de CIT más BR sobre los marcadores del EIMD (277). En este sentido, el presente ensayo no presentó diferencias significativas en la interacción grupo-tiempo en los marcadores EIMD (urea, creatinina, AST, ALT, GGT, LDH y CK) ($p > 0,05$; Tabla 14). En la misma línea, algunas investigaciones que han evaluado los efectos agudos de estos suplementos de forma individual no han encontrado mejoras en los marcadores EIMD. Daab et al. no encontraron diferencias significativas en la CK y la LDH antes del test de carrera intermitente de Loughborough entre el grupo suplementado y el PL después de 7 días (3 días antes del ejercicio, el día de la prueba y 3 días después del ejercicio) con 150 mL de zumo de BR (250 mg de NO_3^-) tomados en dos tomas al día (08:00 y 18:00 h) en jugadores de fútbol (277). Asimismo, Martínez-Sánchez et

al. no presentaron diferencias significativas en los marcadores bioquímicos AST, ALT y CK entre el grupo suplementado y el PL con zumo de sandía enriquecido con CIT (3,45 g por 500 mL/día) tomado dos horas antes de una carrera de media maratón (275). Por lo tanto, teniendo en cuenta que los resultados de este estudio no ofrecieron ningún efecto beneficioso sobre los marcadores EIMD, los resultados obtenidos por la combinación de CIT más BR en el presente estudio desmontan la hipótesis original en la que se preveía que ambos suplementos podrían actuar de forma complementaria reduciendo los EIMD.

Aunque, según el conocimiento de los autores, no se han estudiado los efectos de la combinación a largo plazo de la suplementación con CIT más BR sobre las hormonas anabólicas/catabólicas, en el presente estudio, la combinación de estos suplementos mostró una mejor interacción grupo-tiempo en la distancia recorrida en el CP y el estado de las hormonas anabólicas/catabólicas en el CIT-BRG (Tabla 14 y Figura 18) al evitar un aumento del cortisol ($p = 0,044$; $\eta^2p = 0,247$) y una mejor relación T/C ($p = 0,005$; $\eta^2p = 0,359$). Además, mientras que el CITG y el BRG mostraron una disminución significativa del nivel de testosterona después de 9 semanas ($p < 0,05$), la suplementación con CIT más BR evitó la disminución de esta hormona anabólica. No obstante, algunos autores han demostrado el efecto de ambos suplementos por separado sobre estas hormonas. Así, Da Silva et al. no observaron mejoras en la relación T/C durante el periodo de recuperación a las 24, 48 y 72 h después del ejercicio en hombres adultos jóvenes no entrenados tras la suplementación con 6 g de CIT antes de un entrenamiento de 60 min (191). Estos autores indicaron que la incapacidad de mejorar los factores anabólicos hace que la suplementación con CIT no tenga ningún efecto beneficioso sobre la regeneración muscular durante el periodo de recuperación aguda. Sin embargo, los cambios crónicos en el cortisol y la testosterona pueden estar relacionados con el estrés acumulado y la regeneración corporal durante la temporada deportiva (270). De este modo, Garnacho-Castaño et al. mostraron que la suplementación con BR no parecía influir en el estado anabólico/catabólico en respuesta a los entrenamientos agudos de alta intensidad después de beber 140 mL de BJ ($\sim 12,8 \text{ mmol NO}_3^-$) (189). Por el contrario, en este estudio, el CITG y el BRG presentaron un mantenimiento de la distancia recorrida en el CP y una disminución de los niveles de testosterona y el T/C tras 9 semanas de suplementación. Estos datos podrían indicar un estado de recuperación inadecuado en estos grupos, ya que, tras 9 semanas con un entrenamiento adecuado, se esperaría un mejor rendimiento deportivo. Sin embargo, este estudio presentó un estado de recuperación significativamente mejor en el CIT-BRG representado como un aumento de la distancia recorrida en el CP y el mantenimiento de la testosterona y el T/C después de 9 semanas de suplementación combinada. Estas adaptaciones se obtuvieron evitando un aumento del cortisol y/o un descenso de la testosterona en el CIT-BRG con respecto a los otros grupos de suplementación.

En este sentido, la CIT es un activador clave de la MPS en situaciones catabólicas, como los periodos de entrenamiento de alta intensidad, a través de la activación de la vía mTOR debido a su papel clave en la regulación de la homeostasis del nitrógeno (262). Asimismo, la testosterona aumenta la vía mTOR (278) y el cortisol inhibe la señalización de la vía mTOR (262). Por lo tanto, el aumento de la testosterona y el control de la secreción de cortisol podrían dar lugar a un menor estrés y a una adecuada regeneración muscular (270). En este sentido, el efecto a largo plazo de la CIT que potencia el NO podría aumentar el flujo sanguíneo en los testículos promoviendo la síntesis de testosterona (183) y manteniendo el nivel de testosterona por efecto vasodilatador (279). Además, el aumento del NO reduce la producción de cortisol mediada por la ACTH (182). En consecuencia, aunque esta hipótesis es especulativa, el aumento del NO podría tener éxito en el mantenimiento de un estado anabólico, disminuyendo el estrés metabólico (101)(162). Por lo tanto, los resultados obtenidos en el grupo CIT-BRG podrían mostrar cómo vías independientes en la recuperación muscular (NO y mTOR) pueden ser activadas sinérgicamente con ambos suplementos para obtener mejores resultados.

4.3.1. Limitaciones, puntos fuertes y futuras investigaciones

Hay que señalar que es difícil obtener muestras más grandes en atletas, ya que no muchos de ellos tienen la disponibilidad para cumplir con las instrucciones de entrenamiento y suplementación requeridas por el estudio. Además, los efectos que ambos suplementos utilizados podrían tener sobre el músculo fueron especulativos porque no se incluyó ninguna evaluación al respecto. Por otra parte, el muestreo mediante un procedimiento de muestreo conveniente y no probabilístico puede producir resultados que no sean representativos del resto de la población. Estas limitaciones pueden sub-representar los resultados y pueden afectar a los resultados del estudio. Por esta razón, los resultados deben considerarse en el contexto del estudio. Sin embargo, la metodología utilizada en este ensayo, un ensayo doble ciego controlado con PL, es el punto fuerte más importante. Además, otro punto fuerte fue el control de la dieta de los triatletas, así como el control de la composición corporal durante todo el proceso de intervención, de modo que estos resultados no influyeron en los resultados finales. Otro punto fuerte es el potencial sinérgico del estudio.

La investigación futura debería seguir estudiando los efectos a largo plazo de esta combinación en la recuperación, utilizando diferentes marcadores, como el rendimiento deportivo, para ampliar los conocimientos existentes sobre esta combinación. También debería examinar la eficacia de estos suplementos en atletas a los que ya se les ha diagnosticado un estado de sobreentrenamiento para determinar si el uso de estos suplementos como parte del tratamiento aceleraría la recuperación.

Además, debería analizar cómo afecta esta posible combinación a la población femenina o a los deportes anaeróbicos, dado que este estudio solo se centró en los hombres y midió el rendimiento aeróbico.

4.3.2. Aplicación práctica

Esta investigación podría ser de interés para los médicos y nutricionistas que quieran conseguir una mejor recuperación post-ejercicio de sus deportistas. Teniendo en cuenta que 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) durante 9 semanas podrían adelantar la recuperación muscular y endogámica, se podrían considerar fases de suplementación en las fases de entrenamiento intensivo.

5. CONCLUSIONES



“Si se cree y se trabaja, se puede”

5.1. CONCLUSIONES ARTÍCULO 1

Esta revisión sistemática y metaanálisis han demostrado que la suplementación con ARG podría tener efectos positivos en los resultados de las pruebas físicas relacionadas con el rendimiento anaeróbico y aeróbico. La dosis efectiva de la suplementación con ARG en los protocolos agudos debe ajustarse a 0,15 g/kg (10-11 g) ingeridos entre 60 y 90 min antes del ejercicio para mejorar las disciplinas aeróbicas y anaeróbicas. Por otro lado, la suplementación crónica de ARG de 1,5 a 2 g/día durante 4 a 7 dosis o más (10 a 12 g/día durante 8 semanas) presentó un impacto positivo en el rendimiento aeróbico y anaeróbico, respectivamente.

5.2. CONCLUSIONES ARTÍCULO 2

En conclusión, aunque la combinación de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) no mostró interacciones significativas entre los grupos del estudio durante el estudio de la fuerza máxima y el rendimiento de la fuerza de resistencia, solo el CIT-BRG presentó mejoras significativas en HJUMP y 1-MAT después de 9 semanas de suplementación.

Además, la combinación de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) durante 9 semanas mostró interacciones significativas en el rendimiento de la potencia aeróbica entre los grupos durante el estudio. Estas interacciones se confirmaron con un mayor $\text{VO}_{2\text{máx}}$ estimado por el CIT-BRG con respecto a los otros grupos del estudio.

Por lo tanto, la suplementación combinada de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) durante 9 semanas podría mejorar la fuerza máxima y la fuerza de resistencia. Además, esta posible combinación promueve un aumento del rendimiento (en pruebas de potencia aeróbica) con respecto a la suplementación con CIT o BR por separado.

5.3. CONCLUSIONES ARTÍCULO 3

En conclusión, aunque la combinación de 3 g/día de CIT más 2,1 g/día de BR (300 mg/día de NO_3^-) de suplementación durante 9 semanas no presentó ningún beneficio para el EIMD, evitó un aumento del cortisol y un descenso del T/C en comparación con el PL o la suplementación aislada. Además, esta combinación promovió una mejor distancia recorrida en el CP tras 9 semanas de suplementación. Por lo tanto, el uso combinado de 3 g/día de CIT y BR (300 mg/día de NO_3^-) podría promover un estado de recuperación muscular más rápido, pero sin prevenir el EIMD.

5. REFERENCIAS



“Solo tienes que creer en ti y serás imparable”

1. Jeukendrup AE, Jentjens RLPG, Moseley L. Nutritional considerations in triathlon. *Sport Med*. 2005;35(2):163–81.
2. Etxebarria N, Mujika I, Pyne DB. Training and Competition Readiness in Triathlon. *Sport* 2019, Vol 7, Page 101. 2019 Apr;7(5):101.
3. Marcos-Serrano M, Olcina G, Crespo C, Brooks D, Timon R. Urinary Steroid Profile in Ironman Triathletes. *J Hum Kinet*. 2018;61(1):109–17.
4. Elias N, Dunning E. *Deporte y ocio*. 1986;
5. ESTATUTOS-2013_20140204090313.pdf.
6. GM D, S J, TK M. Medical considerations in triathlon competition: recommendations for triathlon organisers, competitors and coaches. *Sport Med [Internet]*. 2005;35(2):143-161 19p. Available from: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cin20&AN=106626218&site=ehost-live>
7. Giraldo JC, Nieto CE. *Sistemas energeticos en el ejercicio*. 2016;1–12.
8. Arslan E, Aras D. Comparison of body composition, heart rate variability, aerobic and anaerobic performance between competitive cyclists and triathletes. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(4):1325–9.
9. Anta C, Turpin P, Antonio J, Vicente V, Gerardo J, Tormo C, et al. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=301023504001>. 2007;
10. Da Silva Neto LV, Smirmaul BDPC, Pignata BH, Andries O. Efeito do nadar sobre o desempenho do pedal e corrida no triathlon super-sprint. *Rev da Educ Fis*. 2014;25(1):45–51.
11. Youngman J, Simpson D. Risk for exercise addiction: A comparison of triathletes training for sprint-, olympic-, half-ironman-, and ironman-distance triathlons. *J Clin Sport Psychol*. 2014;8(1):19–37.
12. Northey JM, Cherbuin N, Pumpa KL, Smee DJ, Rattray B. Exercise interventions for cognitive function in adults older than 50: A systematic review with meta-Analysis. *Br J Sports Med*. 2018;52(3):154–60.
13. Burke L. *Nutricion en el deporte: un enfoque práctico [Internet]*. 2010. p. 536. Available from: <http://books.google.com/books?id=Ash-DV9udQYC&pgis=1>
14. Calendario » FETRI - FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE TRIATLÓN [Internet]. [cited 2022 May 15]. Available from: <https://triatlon.org/competiciones/calendario/?pagina=2>
15. Jeukendrup AE. Periodized Nutrition for Athletes. *Sport Med*. 2017;47(s1):51–63.
16. Impey SG, Hearn MA, Hammond KM, Bartlett JD, Louis J, Close GL, et al. Fuel for the Work Required: A Theoretical Framework for Carbohydrate Periodization and the Glycogen Threshold Hypothesis. *Sport Med [Internet]*. 2018;48(5):1031–48. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0867-7>
17. Earnest CP, Rothschild J, Harnish CR, Naderi A. Metabolic adaptations to endurance training and nutrition strategies influencing performance. *Res Sport Med [Internet]*. 2019;27(2):134–46. Available from: <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1544134>
18. Casazza GA, Tovar AP, Richardson CE, Cortez AN, Davis BA. Energy availability, macronutrient intake, and nutritional supplementation for improving exercise performance in endurance athletes. *Curr Sports Med Rep*. 2018 Jun;17(6):215–23.
19. Navarro V. Modelos de Planificación Según el Deportista y el Deporte. *Br J Sports Med [Internet]*. 2014;50(2):11–28. Available from: <http://ezproxy.flinders.edu.au/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=99627153&site=ehost-live>
20. Camacho Velázquez JE, Ochoa Reyes ND, Rincón Bolívar NJ. Revisión Teórica De La Planificación Tradicional Y Contemporánea En El Entrenamiento Deportivo. *Rev Digit Act Física y Deport*. 2019;5(2):171–81.
21. Jeukendrup AE. Nutrition for endurance sports: Marathon, triathlon, and road cycling.

- Food, Nutr Sport Perform III. 2020;(February 2013):99–108.
22. Vitale K, Getzin A. Nutrition and supplement update for the endurance athlete: Review and recommendations. *Nutrients*. 2019;11(6):1–20.
 23. Oliveira CC, Ferreira D, Caetano C, Granja D, Pinto R, Mendes B, et al. Nutrition and supplementation in soccer. Vol. 5, *Sports*. 2017. 1–35 p.
 24. Olivos C, Cuevas A. Entrenamiento Y La Nutrition for Training and Competition. *Rev medica Clin condes*. 2018;23(3):253–61.
 25. Sellés Pérez S, Fernández-Sáez J, Cejuela R. Polarized and pyramidal training intensity distribution: Relationship with a half-ironman distance triathlon competition. *J Sport Sci Med*. 2019;18(4):708–15.
 26. Clemente-Suárez VJ, Ramos-Campo DJ. Effectiveness of reverse vs. Traditional linear training periodization in triathlon. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(15):1–13.
 27. Naclerio F, Moody J, Chapman M. Applied periodization: A methodological approach. *J Hum Sport Exerc*. 2013;8(2 SUPPL):350–66.
 28. Clemente-Suárez VJ, Ramos-Campo DJ, Tornero-Aguilera JF, Parraca JA, Batalha N. The effect of periodization on training program adherence. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(24).
 29. Stöggl TL, Sperlich B. The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Front Physiol*. 2015;6(OCT):295.
 30. Communications S. Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2016;48(3):543–68.
 31. Bytomski JR. Fueling for Performance. *Sports Health*. 2018;10(1):47–53.
 32. Peeling P, Binnie MJ, Goods PSR, Sim M, Burke LM. Evidence-based supplements for the enhancement of athletic performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2018;28(2):178–87.
 33. Kim KJ, Song HS, Yoon DH, Fukuda DH, Kim SH, Park DH. The effects of 10 weeks of β -alanine supplementation on peak power, power drop, and lactate response in Korean national team boxers. *J Exerc Rehabil*. 2018;14(6):985–92.
 34. Hobson RM, Saunders B, Ball G, Harris RC, Sale C. Effects of β -alanine supplementation on exercise performance: A meta-analysis. *Amino Acids*. 2012;43(1):25–37.
 35. Moriones VS, Santos JI. Ayudas ergogénicas en el deporte. *Nutr Hosp*. 2017;34(1):204–15.
 36. Cooper R, Naclerio F, Allgrove J, Jimenez A. Suplementação com creatina. *J Int Soc Sport Nutr* 2012. 2012;1–11.
 37. Tang FC, Chan CC, Kuo PL. Contribution of creatine to protein homeostasis in athletes after endurance and sprint running. *Eur J Nutr*. 2014;53(1):61–71.
 38. Gough LA, Sparks SA, McNaughton LR, Higgins MF, Newbury JW, Trexler E, et al. A critical review of citrulline malate supplementation and exercise performance. *Eur J Appl Physiol* [Internet]. 2021;121(12):3283–95. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04774-6>
 39. Vårvik FT, Bjørnsen T, Gonzalez AM. Acute effect of citrulline malate on repetition performance during strength training: A systematic review and meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2021;31(4):350–8.
 40. Wax B, Kavazis AN, Luckett W. Effects of Supplemental Citrulline-Malate Ingestion on Blood Lactate, Cardiovascular Dynamics, and Resistance Exercise Performance in Trained Males. *J Diet Suppl*. 2016;13(3):269–82.
 41. Fernández-Landa J, Fernández-Lázaro D, Calleja-González J, Caballero-García A, Córdova Martínez A, León-Guereño P, et al. Effect of Ten Weeks of Creatine Monohydrate Plus HMB Supplementation on Athletic Performance Tests in Elite Male Endurance Athletes. *Nutrients* [Internet]. 2020;12:193. Available from: www.mdpi.com/journal/nutrients

42. Burgos J, Viribay A, Fernández-Lázaro D, Calleja-González J, González-Santos J, Mielgo-Ayuso J. Combined effects of citrulline plus nitrate-rich beetroot extract co-supplementation on maximal and endurance-strength and aerobic power in trained male triathletes: A randomized double-blind, placebo-controlled trial. *Nutrients*. 2022;14(1):1–14.
43. Theofilidis G, Bogdanis GC, Koutedakis Y, Karatzaferi C. Monitoring exercise-induced muscle fatigue and adaptations: Making sense of popular or emerging indices and biomarkers. *Sports*. 2018;6(4):1–15.
44. Córdova-Martínez A, Caballero-García A, Bello HJ, Perez-Valdecantos D, Roche E. Effects of Eccentric vs. Concentric Sports on Blood Muscular Damage Markers in Male Professional Players. *Biology (Basel)*. 2022;11(3).
45. Twist C, Eston R. The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol*. 2005;94(5–6):652–8.
46. Owens DJ, Twist C, Cobley JN, Howatson G, Close GL. Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions? *Eur J Sport Sci [Internet]*. 2019;19(1):71–85. Available from: <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1505957>
47. Hody S, Croisier JL, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric muscle contractions: Risks and benefits. *Front Physiol*. 2019;10(MAY):1–18.
48. Markus I, Constantini K, Hoffman JR, Bartolomei S, Gepner Y. Exercise-induced muscle damage: mechanism, assessment and nutritional factors to accelerate recovery. *Eur J Appl Physiol*. 2021;121(4):969–92.
49. Callegari GA, Novaes JS, Neto GR, Dias I, Garrido ND, Dani C. Creatine Kinase and Lactate Dehydrogenase Responses after Different Resistance and Aerobic Exercise Protocols. *J Hum Kinet*. 2017;58(1):65–72.
50. Harty PS, Cottet ML, Malloy JK, Kerksick CM. Nutritional and Supplementation Strategies to Prevent and Attenuate Exercise-Induced Muscle Damage: a Brief Review. *Sport Med - Open*. 2019;5(1):1–17.
51. Kanda K, Sugama K, Sakuma J, Kawakami Y, Suzuki K. Evaluation of serum leaking enzymes and investigation into new biomarkers for exercise-induced muscle damage. *Exerc Immunol Rev*. 2014;20:39–54.
52. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sport Med*. 2005;35(4):339–61.
53. HACKNEY ANTHONY C., WALZ EA. Hormonal adaptation and the stress of exercise training: the role of glucocorticoids. *Trends Sport Sci*. 2018;176(5):139–48.
54. Hayes LD, Bickerstaff GF, Baker JS. REVIEW ARTICLE INTERACTIONS OF CORTISOL , TESTOSTERONE , AND RESISTANCE TRAINING : INFLUENCE OF CIRCADIAN RHYTHMS Circadian rhythms are biological variations that repeat themselves with periodicity of ~ 24 h (Reilly & Waterhouse , 2009). Most mammalian . 2010;27(4):675–705.
55. Morris et al. 2012. 基因的改变 NIH Public Access. *Gerontology*. 2015;61(6):515–25.
56. Christou MA, Christou PA, Markozannes G, Tsatsoulis A, Mastorakos G, Tigas S. Effects of Anabolic Androgenic Steroids on the Reproductive System of Athletes and Recreational Users: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport Med*. 2017;47(9):1869–83.
57. Mangine GT, Van Dusseldorp TA, Feito Y, Holmes AJ, Serafini PR, Box AG, et al. Testosterone and cortisol responses to five high-intensity functional training competition workouts in recreationally active adults. *Sports*. 2018;6(3).
58. De Luccia TP. Use of the Testosterone/Cortisol Ratio Variable in Sports. *Open Sports Sci J*. 2016;9(1):104–13.

59. Kreher J. Diagnosis and prevention of overtraining syndrome: an opinion on education strategies. *Open Access J Sport Med*. 2016;Volume 7:115–22.
60. Kreher JB, Schwartz JB. Overtraining Syndrome: A Practical Guide. *Sports Health*. 2012;4(2):128–38.
61. Cadegiani FA, da Silva PHL, Abrao TCP, Kater CE. Diagnosis of Overtraining Syndrome: Results of the Endocrine and Metabolic Responses on Overtraining Syndrome Study: EROS-DIAGNOSIS. *J Sports Med*. 2020;2020:1–17.
62. Cadegiani FA, Kater CE. Novel causes and consequences of overtraining syndrome: The EROS-DISRUPTORS study. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2019;11(1).
63. Meeusen R, Duclos M, Foster C, Fry A, Gleeson M, Nieman D, et al. Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the european college of sport science and the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(1):186–205.
64. Stellingwerff T, Heikura IA, Meeusen R, Bermon S, Seiler S, Mountjoy ML, et al. Overtraining Syndrome (OTS) and Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): Shared Pathways, Symptoms and Complexities. *Sport Med [Internet]*. 2021;51(11):2251–80. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01491-0>
65. Hotfiel T, Mayer I, Huettel M, Hoppe MW, Engelhardt M, Lutter C, et al. Accelerating Recovery from Exercise-Induced Muscle Injuries in Triathletes: Considerations for Olympic Distance Races. 2019;7:143. Available from: www.mdpi.com/journal/sports
66. Kilpatrick MW, Williams DK, Lamadrid PP, Collins LH, Bickford PC, Sanberg CD. Effect Of A Nutraceutical Product On Energy , Fatigue , And Perceived Exertion In Healthy Active Adults University of South Florida , Tampa , FL . 2 Natura Therapeutics , Tampa , FL . June 2 2 : 00 PM - 3 : 30 PM Betalain-Rich Concentrate Supplementation . 2017;3276.
67. Frączek B, Warzecha M, Tyrała F, Pięta A. Prevalence of the use of effective ergogenic aids among professional athletes. *Rocz Panstw Zakl Hig*. 2016;67(3):271–8.
68. Porrini M, Del Bo C. Ergogenic Aids and Supplements. *Front Horm Res*. 2016;47:128–52.
69. Juhn MS. Ergogenic aids in aerobic activity. *Curr Sports Med Rep*. 2002;1(4):233–8.
70. Pauff SM, Miller SC. 基因的改变 NIH Public Access. *Bone [Internet]*. 2012;78(2):711–6. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3624763/pdf/nihms412728.pdf>
71. McNeal CJ, Meininger CJ, Reddy D, Wilborn CD, Wu G. Safety and effectiveness of Arginine in adults. *J Nutr*. 2016;146(12):2587S-2593S.
72. Morris SM. Arginine metabolism revisited. *J Nutr*. 2016;146(12):2579S-2586S.
73. Pahlavani N, Entezari MH, Nasiri M, Miri A, Rezaie M, Bagheri-Bidakhavidi M, et al. The effect of l-arginine supplementation on body composition and performance in male athletes: a double-blinded randomized clinical trial. *Eur J Clin Nutr [Internet]*. 2017 Apr 25 [cited 2019 Apr 11];71(4):544–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28120856>
74. d’Unienville NMA, Blake HT, Coates AM, Hill AM, Nelson MJ, Buckley JD. Effect of food sources of nitrate, polyphenols, L-arginine and L-citrulline on endurance exercise performance: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *J Int Soc Sports Nutr [Internet]*. 2021;18(1):1–28. Available from: <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00472-y>
75. McConell GK. Effects of L-arginine supplementation on exercise metabolism. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care [Internet]*. 2007 Jan [cited 2018 Nov 22];10(1):46–51. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17143054>
76. Álvares TS, Meirelles CM, Bhambhani YN, Paschoalin VMF, Gomes PSC. L-arginine as

- a potential ergogenic aid in healthy subjects. *Sport Med.* 2011;41(3):233–48.
77. Viribay A, Burgos J, Fernández-Landa J, Seco-Calvo J, Mielgo-Ayuso J. Effects of arginine supplementation on athletic performance based on energy metabolism: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients.* 2020;12(5):1–20.
 78. Rezaei S, Gholamalizadeh M, Tabrizi R, Nowrouzi-Sohrabi P, Rastgoo S, Doaei S. The effect of L-arginine supplementation on maximal oxygen uptake: A systematic review and meta-analysis. *Physiol Rep.* 2021;9(3):1–9.
 79. Gambardella J, Fiordelisi A, Spigno L, Boldrini L, Lungonelli G, Di Vaia E, et al. Effects of Chronic Supplementation of L-Arginine on Physical Fitness in Water Polo Players. *Oxid Med Cell Longev.* 2021;2021.
 80. Allerton TD, Proctor DN, Stephens JM, Dugas TR, Spielmann G, Irving BA. L-citrulline supplementation: Impact on cardiometabolic health. *Nutrients.* 2018;10(7):1–24.
 81. Breuillard C, Cynober L, Moinard C. Citrulline and nitrogen homeostasis: An overview. *Amino Acids.* 2015;47(4):685–91.
 82. Suzuki T, Morita M, Kobayashi Y, Kamimura A. Oral L-citrulline supplementation enhances cycling time trial performance in healthy trained men: Double-blind randomized placebo-controlled 2-way crossover study. *J Int Soc Sports Nutr [Internet].* 2016 [cited 2018 Nov 22];13:6. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26900386>
 83. Bailey SJ, Blackwell JR, Lord T, Vanhatalo A, Winyard PG, Jones AM. L-Citrulline supplementation improves O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise performance in humans. *J Appl Physiol.* 2015;119(4):385–95.
 84. Burgos J, Viribay A, Calleja-gonzález J, Fernández-lázaro D, Olasagasti-ibargoien J, Seco-calvo J, et al. Long-Term Combined Effects of Citrulline and Nitrate-Rich Beetroot Extract Supplementation on Recovery Status in Trained Male Triathletes: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Biology (Basel).* 2022;11(1).
 85. Sureda A, Córdova A, Ferrer MD, Pérez G, Tur JA, Pons A. L-Citrulline-malate influence over branched chain amino acid utilization during exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2010;110(2):341–51.
 86. Glenn JM, Gray M, Jensen A, Stone MS, Vincenzo JL. Acute citrulline-malate supplementation improves maximal strength and anaerobic power in female, masters athletes tennis players. *Eur J Sport Sci.* 2016;16(8):1095–103.
 87. Londoño Pereira M, Gómez Ramírez BD. Nitratos y nitritos, la doble cara de la moneda. *Rev Nutr Clínica y Metab.* 2021;4(1):110–9.
 88. Moreno C B, Soto O K, González R D. El consumo de nitrato y su potencial efecto benéfico sobre la salud cardiovascular TT - Nitrate consumption and potential beneficial effect on cardiovascular health. *Rev chil nutr [Internet].* 2015;42(2):199–205. Available from: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182015000200013
 89. Cuenca E, Jodra P, Pérez-López A, González-Rodríguez LG, da Silva SF, Veiga-Herreros P, et al. Effects of beetroot juice supplementation on performance and fatigue in a 30-s all-out sprint exercise: A randomized, double-blind cross-over study. *Nutrients.* 2018;10(9):1–12.
 90. Domínguez R, Cuenca E, Maté-Muñoz JL, García-Fernández P, Serra-Paya N, Estevan MCL, et al. Effects of beetroot juice supplementation on cardiorespiratory endurance in athletes. A systematic review. *Nutrients.* 2017;9(1):1–18.
 91. Domínguez R, Maté-Muñoz JL, Cuenca E, García-Fernández P, Mata-Ordoñez F, Lozano-Estevan MC, et al. Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *J Int Soc Sports Nutr.* 2018;15:2.
 92. Nyakayiru J, van Loon LJC, Verdijk LB. Could intramuscular storage of dietary nitrate contribute to its ergogenic effect? A mini-review. *Free Radic Biol Med [Internet].* 2020;152(August 2019):295–300. Available from:

- <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.03.025>
93. Nyakayiru J, Jonvik KL, Trommelen J, Pinckaers PJM, Senden JM, van Loon LJC, et al. Beetroot juice supplementation improves high-intensity intermittent type exercise performance in trained soccer players. *Nutrients*. 2017;9(3).
 94. Radak Z, Naito H, Taylor AW, Goto S. Nitric oxide: Is it the cause of muscle soreness? *Nitric Oxide - Biol Chem*. 2012;26(2):89–94.
 95. Mathiowetz V, Weber K, Volland G, Kashman N. Reliability and validity of grip and pinch strength evaluations. *J Hand Surg Am [Internet]*. 1984;9(2):222–6. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0363-5023\(84\)80146-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0363-5023(84)80146-X)
 96. Roux-Mallouf T Le, Pelen F, Vallejo A, Halimaoui I, Doutreleau S, Verges S. Effect of chronic nitrate and citrulline supplementation on vascular function and exercise performance in older individuals. *Aging (Albany NY)*. 2019 May;11(10):3315.
 97. Allen AE, Dupont CL, Oborník M, Horák A, Nunes-Nesi A, McCrow JP, et al. Evolution and metabolic significance of the urea cycle in photosynthetic diatoms. *Nature*. 2011;473(7346):203–7.
 98. Alvares TS, Conte-Junior CA, Silva JT, Paschoalin VMF. L-arginine does not improve biochemical and hormonal response in trained runners after 4 weeks of supplementation. *Nutr Res*. 2014;34(1):31–9.
 99. Kresta JY, Oliver JM, Jagim AR, Fluckey J, Riechman S, Kelly K, et al. Effects of 28 days of beta-alanine and creatine supplementation on muscle carnosine, body composition and exercise performance in recreationally active females. *J Int Soc Sports Nutr*. 2014;11(1):55.
 100. Stout JR, Cramer JT, Mielke M, O’Kroy J, Torok DJ, Zoeller RF. Effects of twenty-eight days of beta-alanine and creatine monohydrate supplementation on the physical working capacity at neuromuscular fatigue threshold. *J Strength Cond Res*. 2006;20(4):928–31.
 101. Fernández-Landa J, Fernández-Lázaro D, Calleja-González J, Caballero-García A, Córdova A, León-Guereño P, et al. Long-term effect of combination of creatine monohydrate plus β -hydroxy β -methylbutyrate (HMB) on exercise-induced muscle damage and Anabolic/Catabolic hormones in elite male endurance athletes. *Biomolecules [Internet]*. 2020 [cited 2021 Sep 11];10(1):140. Available from: www.mdpi.com/journal/biomolecules
 102. Lloyd A, Hodder S, Havenith G. The interactive effect of cooling and hypoxia on forearm fatigue development. *Eur J Appl Physiol*. 2015;115(9):2007–18.
 103. Garthe I, Maughan RJ. Athletes and supplements: Prevalence and perspectives. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2018;28(2):126–38.
 104. Baltazar-Martins G, Brito de Souza D, Aguilar-Navarro M, Muñoz-Guerra J, Plata M del M, Del Coso J. Prevalence and patterns of dietary supplement use in elite Spanish athletes. *J Int Soc Sports Nutr*. 2019;16(1):1–9.
 105. Australian Institute of Sport. ABCD Classification System. Australian Institute of Sport. 2017 [2018; 2018] [Internet]. [cited 2022 May 15]. Available from: https://www.ais.gov.au/nutrition/supplements#group_a (accessed on 18 April 2020).
 106. Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan A, Kleiner SM, Jäger R, et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: Research & recommendKerksick, C. M., Wilborn, C. D., Roberts, M. D., Smith-Ryan, A., Kleiner, S. M., Jäger, R., ... Kreider, R. B. (2018). ISSN exercise & sports nutrition review update: Research & recommendat. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018;15(1):1–57.
 107. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, et al. IOC consensus statement: Dietary supplements and the high-performance athlete. *Br J Sports Med*. 2018;52(7):439–55.
 108. Poortmans JR, Gualano B, Carpentier A. Nitrate supplementation and human exercise performance: Too much of a good thing? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*.

- 2015;18(6):599–604.
109. Yavuz H, Turnagol H, Demirel H. PRE-EXERCISE ARGININE SUPPLEMENTATION INCREASES TIME TO EXHAUSTION IN ELITE MALE WRESTLERS. *Biol Sport* [Internet]. 2014 Jul 1 [cited 2019 Apr 11];31(3):187–91. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25177096>
 110. Hurst H, Hurst HT, Sinclair J, Beenham M. Influence of absolute versus relative L-arginine dosage on 1 km and 16.1 km time trial performance in trained cyclists. *J Sci Cycl.* 2014;3(1):2–8.
 111. Ielke MIM, Ohnson GLENOJ, Chmidt RIJS. *E a -b s p w c f t.* 2010;1:1306–12.
 112. Curis E, Nicolis I, Moinard C, Osowska S, Zerrouk N, Bénazeth S, et al. Almost all about citrulline in mammals. *Amino Acids.* 2005;29(3):177–205.
 113. Huerta Ojeda Á. Efecto de la suplementación de L-arginina y L-citrulina sobre el rendimiento físico: una revisión sistemática. *Nutr hosp.* 2019;1389–402.
 114. Lundberg JO, Weitzberg E, Gladwin MT. The nitrate-nitrite-nitric oxide pathway in physiology and therapeutics. *Nat Rev Drug Discov.* 2008;7(2):156–67.
 115. Jones AM, Thompson C, Wylie LJ, Vanhatalo A. Dietary nitrate and physical performance. *Annu Rev Nutr.* 2018;38:303–28.
 116. J.A. K. Growth hormone, arginine and exercise. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* [Internet]. 2008;11(1):50–4. Available from: <http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=emed8&NEWS=N&AN=2007618933>
 117. Forbes SC, Harber V, Bell GJ. Oral L-arginine before resistance exercise blunts growth hormone in strength trained males. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2014;24(2):236–44.
 118. Campbell B, Roberts M, Kerksick C, Wilborn C, Marcello B, Taylor L, et al. Pharmacokinetics, safety, and effects on exercise performance of l-arginine α -ketoglutarate in trained adult men. *Nutrition.* 2006;22(9):872–81.
 119. Børshiem E, Bui QUT, Tissier S, Kobayashi H, Ferrando AA, Wolfe RR. Effect of amino acid supplementation on muscle mass, strength and physical function in elderly. *Clin Nutr* [Internet]. 2008 Apr 1 [cited 2022 May 31];27(2):189–95. Available from: <http://www.clinicalnutritionjournal.com/article/S0261561408000204/fulltext>
 120. Tang JE, Lysecki PJ, Manolagos JJ, MacDonald MJ, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Bolus arginine supplementation affects neither muscle blood flow nor muscle protein synthesis in young men at rest or after resistance exercise. *J Nutr* [Internet]. 2011 Feb 1 [cited 2022 May 31];141(2):195–200. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21191143/>
 121. Schaefer A, Geny B, Mettauer B, Piquard F, Doutreleau S, Lampert E, et al. L-arginine reduces exercise-induced increase in plasma lactate and ammonia. *Int J Sports Med.* 2002;23(6):403–7.
 122. Tsai PH, Tang TK, Juang CL, Chen KWC, Chi CA, Hsu MC. Effects of arginine supplementation on post-exercise metabolic responses. *Chin J Physiol* [Internet]. 2009 [cited 2022 May 16];52(3):136–42. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19777799/>
 123. Forbes SC, Harber V, Bell GJ. The acute effects of L-arginine on hormonal and metabolic responses during submaximal exercise in trained cyclists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013;23(4):369–77.
 124. Rowlands DS, Clarke J, Green JG, Shi X. L-Arginine but not L-glutamine likely increases exogenous carbohydrate oxidation during endurance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2012;112(7):2443–53.
 125. Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. / Facteurs limitants de la consommation maximale d’oxygene et determinants de la performance d’endurance. *Med Sci Sport Exerc.* 2000;32(1):70–84.

126. Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: The physiology of champions. *J Physiol.* 2008;586(1):35–44.
127. Jones AM, Burnley M. Oxygen uptake kinetics: An underappreciated determinant of exercise performance. *Int J Sports Physiol Perform.* 2009;4(4):524–32.
128. Bailey SJ, Winyard PG, Vanhatalo A, Blackwell JR, DiMenna FJ, Wilkerson DP, et al. Acute L-arginine supplementation reduces the O₂ cost of moderate-intensity exercise and enhances high-intensity exercise tolerance. *J Appl Physiol.* 2010;109(5):1394–403.
129. Chamari K, Padulo J. ‘Aerobic’ and ‘Anaerobic’ terms used in exercise physiology: a critical terminology reflection. *Sport Med - Open.* 2015;1(1):1–4.
130. Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol [Internet].* 1993 [cited 2022 May 17];75(2):712–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8226473/>
131. PB G. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sport Med.* 2001;31(10):725–41.
132. Sahlin K. Muscle Energetics During Explosive Activities and Potential Effects of Nutrition and Training. *Sport Med.* 2014;44:167–73.
133. Ghigo E, Anat E, Valenit F, Nicolosi M, Boffano GM, Procopio M, et al. Arginine reinstates the somatotrope responsiveness to intermittent growth hormone-releasing hormone administration in normal adults. *Neuroendocrinology.* 1991;54(3):291–4.
134. Actor GRF, Evelt SEL, Thletes STR a. Rginine and. 1:1082–90.
135. Wu G, Morris SM. Arginine metabolism: nitric oxide and beyond. *Biochem J [Internet].* 1998 Nov 15 [cited 2022 May 17];336(1):1–17. Available from: </biochemj/article/336/1/1/34432/Arginine-metabolism-nitric-oxide-and-beyond>
136. Sciences HM. a Cute a Rginine S Upplementation F Ails To. 2011;0(0):1–6.
137. Meirelles CM, Matsuura C. Acute supplementation of L-arginine affects neither strength performance nor nitric oxide production. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018;58(3):216–20.
138. Mor A, Atan T, Agaoglu SA, Ayyildiz M. Effect of arginine supplementation on footballers’ anaerobic performance and recovery. *Prog Nutr.* 2018;20(1):104–12.
139. Schneider KL, Yahia N. Effectiveness of Arginine Supplementation on Wound Healing in Older Adults in Acute and Chronic Settings: A Systematic Review. *Adv Ski Wound Care.* 2019;32(10):457–62.
140. Rodrigues-Krause J, Krause M, da Rocha IMG, Umpierre D, Fayh APT. Association of L-arginine supplementation with markers of endothelial function in patients with cardiovascular or metabolic disorders: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients.* 2019;11(1).
141. Bentley DJ, Millet GP, Vleck VE, McNaughton LR. Specific aspects of contemporary triathlon: Implications for physiological analysis and performance. *Sport Med.* 2002;32(6):345–59.
142. Millet GP, Vleck VE, Bentley DJ. Physiological requirements in triathlon. *J Hum Sport Exerc.* 2011;6(November 2019):184–204.
143. Suriano R, Bishop D. Physiological attributes of triathletes. *J Sci Med Sport [Internet].* 2010;13(3):340–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2009.03.008>
144. Cormie P, McGuigan M, Newton R. Developing Maximal Neuromuscular Power. Part 2 - Training Considerations for Improving Maximal Power Production. *Sport Med.* 2011;41(2):125–46.
145. Bahri S, Zerrouk N, Aussel C, Moinard C, Crenn P, Curis E, et al. Citrulline: From metabolism to therapeutic use. *Nutrition.* 2013;29(3):479–84.
146. Rhim HC, Kim SJ, Park J, Jang KM. Effect of citrulline on post-exercise rating of perceived exertion, muscle soreness, and blood lactate levels: A systematic review and meta-analysis. *J Sport Heal Sci.* 2020;9(6):553–61.
147. Stanelle ST, McLaughlin KL, Crouse SF. One Week of L-Citrulline Supplementation

- Improves Performance in Trained Cyclists. *J strength Cond Res.* 2020;34(3):647–52.
148. Farney TM, Bliss M V., Heaton CM, Salazar DA. The Effect of Citrulline Malate Supplementation on Muscle Fatigue Among Healthy Participants. *J strength Cond Res.* 2019;33(9):2464–70.
 149. Barazzoni R, Short KR, Asmann Y, Coenen-Schimke JM, Robinson MM, Nair KS. Insulin fails to enhance mTOR phosphorylation, mitochondrial protein synthesis, and ATP production in human skeletal muscle without amino acid replacement. *Am J Physiol - Endocrinol Metab.* 2012;303(9).
 150. Figueroa A, Wong A, Jaime SJ, Gonzales JU. Influence of L-citrulline and watermelon supplementation on vascular function and exercise performance. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2017;20(1):92–8.
 151. Trexler ET, Keith DS, Schwartz TA, Ryan ED, Stoner L, Persky AM, et al. Effects of Citrulline Malate and Beetroot Juice Supplementation on Blood Flow, Energy Metabolism, and Performance During Maximum Effort Leg Extension Exercise. *J strength Cond Res.* 2019;33(9):2321–9.
 152. Cermak NM, Gibala MJ, Van Loon LJC. Nitrate supplementation's improvement of 10-km time-trial performance in trained cyclists. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2012;22(1):64–71.
 153. Shannon OM, Barlow MJ, Duckworth L, Williams E, Wort G, Woods D, et al. Dietary nitrate supplementation enhances short but not longer duration running time-trial performance. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(4):775–85.
 154. de Castro TF, de Assis Manoel F, Figueiredo DH, Figueiredo DH, Machado FA. Effects of chronic beetroot juice supplementation on maximum oxygen uptake, velocity associated with maximum oxygen uptake, and peak velocity in recreational runners: a double-blinded, randomized and crossover study. *Eur J Appl Physiol.* 2019;119(5):1043–53.
 155. Clements WT, Lee SR, Bloomer RJ. Nitrate Ingestion: A Review of the Health and Physical Performance Effects. *Nutr* 2014, Vol 6, Pages 5224-5264 [Internet]. 2014 Nov 18 [cited 2022 May 18];6(11):5224–64. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-6643/6/11/5224/htm>
 156. Rokkedal-Lausch T, Franch J, Poulsen MK, Thomsen LP, Weitzberg E, Kamavuako EN, et al. Chronic high-dose beetroot juice supplementation improves time trial performance of well-trained cyclists in normoxia and hypoxia. *Nitric Oxide - Biol Chem.* 2019;85:44–52.
 157. Boorsma RK, Whitfield J, Spriet LL. Beetroot juice supplementation does not improve performance of elite 1500-m runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46(12):2326–34.
 158. Bender D, Townsend JR, Vantrease WC, Marshall AC, Henry RN, Heffington SH, et al. Acute beetroot juice administration improves peak isometric force production in adolescent males. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2018;43(8):1–29.
 159. Mosher SL, Andy Sparks S, Williams EL, Bentley DJ, Naughton LRM. Ingestion of a nitric oxide enhancing supplement improves resistance exercise performance. *J Strength Cond Res.* 2016;30(12):3520–4.
 160. Coggan AR, Peterson LR. Dietary Nitrate Enhances the Contractile Properties of Human Skeletal Muscle. *Exerc Sport Sci Rev.* 2018;46(4):254–61.
 161. Coggan AR, Baranauskas MN, Hinrichs RJ, Liu Z, Carter SJ. Effect of dietary nitrate on human muscle power: a systematic review and individual participant data meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr.* 2021;18(1):1–12.
 162. Bescós RL, Sureda A, Tur JA, Pons A. The Effect of Nitric-Oxide-Related Supplements on Human Performance.
 163. Bailey SJ, Fulford J, Vanhatalo A, Winyard PG, Blackwell JR, DiMenna FJ, et al. Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor

- exercise in humans. *J Appl Physiol*. 2010;109(1):135–48.
164. Hoon MW, Johnson NA, Chapman PG, Burke LM. The effect of nitrate supplementation on exercise performance in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2013;23(5):522–32.
 165. Trexler ET, Persky AM, Ryan ED, Schwartz TA, Stoner L, Smith-Ryan AE. Acute Effects of Citrulline Supplementation on High-Intensity Strength and Power Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sport Med*. 2019;(0123456789).
 166. Anderson O, ... MM-F-... *J of S&*, 2021 undefined. Effects of Nitrate Supplementation on Muscle Strength and Mass: A Systematic Review. *journals.lww.com*.
 167. Green DJ, Maiorana A, O’Driscoll G, Taylor R. Effect of exercise training on endothelium-derived nitric oxide function in humans. *J Physiol [Internet]*. 2004 Nov 15 [cited 2022 May 18];561(Pt 1):1–25. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15375191/>
 168. Hord NG, Tang Y, Bryan NS. Food sources of nitrates and nitrites: The physiologic context for potential health benefits. *Am J Clin Nutr*. 2009 Jul;90(1):1–10.
 169. Del Coso J, González C, Abian-Vicen J, Salinero Martín JJ os., Soriano L, Areces F, et al. Relationship between physiological parameters and performance during a half-ironman triathlon in the heat. <https://doi.org/101080/026404142014915425> [Internet]. 2014 [cited 2022 May 18];32(18):1680–7. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640414.2014.915425>
 170. Neubauer O, König D, Wagner KH. Recovery after an Ironman triathlon: Sustained inflammatory responses and muscular stress. *Eur J Appl Physiol*. 2008;104(3):417–26.
 171. Del Coso J, Areces F, Salinero JJ, González-Millán C, Abián-Vicén J, Soriano L, et al. Compression stockings do not improve muscular performance during a half-ironman triathlon race. *Eur J Appl Physiol* 2013 1143 [Internet]. 2013 Dec 13 [cited 2022 May 18];114(3):587–95. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00421-013-2789-2>
 172. Mielgo-Ayuso J, Zourdos MC, Urdampilleta A, Calleja-Gonzalez J, Seco J, Cordova A. Relación de la ingesta a largo plazo de macronutrientes en las hormonas anabólicas-catabólicas de jugadoras de voleibol elite. *Nutr Hosp*. 2017;34(5):1155–62.
 173. Beck KL, Thomson JS, Swift RJ, Von Hurst PR. Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery. *Open Access J Sport Med [Internet]*. 2015;6–259. Available from: <http://dx.doi.org/10.2147/OAJSM.S33605>
 174. Bryan NS. Safe and Effective Use of Nitric Oxide–Based Supplements and Nutrition for Sports Performance. *Nutr Enhanc Sport Perform Muscle Build Endur Strength*. 2019 Jan;309–16.
 175. Gonzalez AM, Trexler ET. Effects of Citrulline Supplementation on Exercise Performance in Humans: A Review of the Current Literature. *J strength Cond Res*. 2020 May;34(5):1480–95.
 176. Gilligan DM, Panza JA, Kilcoyne CM, Waclawiw MA, Casino PR, Quyyumi AA. Contribution of endothelium-derived nitric oxide to exercise-induced vasodilation. *Circulation [Internet]*. 1994 [cited 2022 May 18];90(6):2853–8. Available from: <https://www.ahajournals.org/doi/abs/10.1161/01.CIR.90.6.2853>
 177. Anderson JE. A Role for Nitric Oxide in Muscle Repair: Nitric Oxide-mediated Activation of Muscle Satellite Cells. Vol. 11, *Molecular Biology of the Cell*. 2000.
 178. Arazi H, Eghbali E. Possible Effects of Beetroot Supplementation on Physical Performance Through Metabolic, Neuroendocrine, and Antioxidant Mechanisms: A Narrative Review of the Literature. *Front Nutr*. 2021 May;8:660150.
 179. Viribay A, Arribalzaga S, Mielgo-Ayuso J, Castañeda-Babarro A, Seco-Calvo J, Urdampilleta A. Effects of 120 g/h of Carbohydrates Intake during a Mountain Marathon on Exercise-Induced Muscle Damage in Elite Runners. *Nutr* 2020, Vol 12, Page 1367

- [Internet]. 2020 May 11 [cited 2022 May 18];12(5):1367. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/5/1367/htm>
180. Urdampilleta A, Arribalzaga S, Viribay A, Castañeda-Babarro A, Seco-Calvo J, Mielgo-Ayuso J. Effects of 120 vs. 60 and 90 g/h Carbohydrate Intake during a Trail Marathon on Neuromuscular Function and High Intensity Run Capacity Recovery. *Nutr* 2020, Vol 12, Page 2094 [Internet]. 2020 Jul 15 [cited 2022 May 18];12(7):2094. Available from: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/7/2094/htm>
 181. Wang JM, Gu CH, Tao L, Wu XL. Effect of surgery and efferent duct ligation on testicular blood flow and testicular steroidogenesis in the rat. *J Reprod Fertil*. 1985;73(1):191–6.
 182. Monau TR, Vargas VE, Lubo Zhang, Myers DA, Ducsay CA. Nitric oxide inhibits ACTH-induced cortisol production in near-term, long-term hypoxic ovine fetal adrenocortical cells. *Reprod Sci*. 2010;17(10):955–62.
 183. Banihani SA. biomolecules Testosterone in Males as Enhanced by Onion (*Allium Cepa* L.). Available from: www.mdpi.com/journal/biomolecules
 184. Hernández A, Schiffer TA, Ivarsson N, Cheng AJ, Bruton JD, Lundberg JO, et al. Dietary nitrate increases tetanic [Ca²⁺] and contractile force in mouse fast-twitch muscle. *J Physiol* [Internet]. 2012;590(15):3575–83. Available from: <http://rsb.info.nih.gov/ij/>
 185. Milton-Laskibar I, Alfredo Martínez J, Portillo MP. Current Knowledge on Beetroot Bioactive Compounds: Role of Nitrate and Betalains in Health and Disease. 2021; Available from: <https://doi.org/10.3390/foods10061314>
 186. Jones L, Bailey SJ, Rowland SN, Alsharif N, Shannon OM, Clifford T. The Effect of Nitrate-Rich Beetroot Juice on Markers of Exercise-Induced Muscle Damage: A Systematic Review and Meta-Analysis of Human Intervention Trials. *J Diet Suppl*. 2021;0(0):1–23.
 187. Clifford T, Bell O, West DJ, Howatson G, Stevenson EJ. The effects of beetroot juice supplementation on indices of muscle damage following eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol* 2015 1162 [Internet]. 2015 Nov 4 [cited 2022 May 18];116(2):353–62. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00421-015-3290-x>
 188. Sana Sarfaraz, Rahela Ikram, Muhammad Osama, Humera Anser. Effect of different doses of lyophilized beetroot on fertility and reproductive hormones - PubMed [Internet]. [cited 2022 May 18]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33867323/>
 189. Garnacho-Castaño MV, Palau-Salvà G, Serra-Payà N, Ruiz-Hermosel M, Berbell M, Viñals X, et al. Understanding the effects of beetroot juice intake on CrossFit performance by assessing hormonal, metabolic and mechanical response: a randomized, double-blind, crossover design. *J Int Soc Sports Nutr* [Internet]. 2020;17(1). Available from: <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00388-z>
 190. Larsen FJ, Schiffer TA, Borniquel S, Sahlin K, Ekblom B, Lundberg JO, et al. Dietary inorganic nitrate improves mitochondrial efficiency in humans. *Cell Metab*. 2011;13(2):149–59.
 191. da Silva DK, Jacinto JL, de Andrade WB, Roveratti MC, Estoche JM, Balvedi MCW, et al. Citrulline malate does not improve muscle recovery after resistance exercise in untrained young adult men. *Nutrients* [Internet]. 2017;9(10). Available from: www.mdpi.com/journal/nutrients
 192. Haider G, Folland JP. Nitrate supplementation enhances the contractile properties of human skeletal muscle. *Med Sci Sports Exerc*. 2014;46(12):2234–43.
 193. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration. *BMJ*. 2009;339:b2700.
 194. O'Connor D, Green S, Higgins JP. Defining the Review Question and Developing Criteria for Including Studies. *Cochrane Handb Syst Rev Interv Cochrane B Ser* [Internet]. 2008

- Sep 22 [cited 2022 May 15];81–94. Available from:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/9780470712184.ch5>
195. McHugh ML. Lessons in biostatistics interrater reliability : the kappa statistic. *Biochem Medica* [Internet]. 2012;22(3):276–82. Available from: <https://hrcak.srce.hr/89395>
 196. Berthon P, Fellmann N, Bedu M, Beaune B, Dabonneville M, Coudert J, et al. A 5-min running field test as a measurement of maximal aerobic velocity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1997;75(3):233–8.
 197. Tong TK, Fu FH, Chow BC. Reliability of a 5-min running field test and its accuracy in VO₂max evaluation. *J Sports Med Phys Fitness*. 2001;41(3):318–23.
 198. Egger M, Smith GD, Schneider M, Minder C. Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *Br Med J*. 1997;315(7109):629–34.
 199. Manual Cochrane de revisiones sistemáticas de intervenciones | Cochrane Training [Internet]. [cited 2022 May 15]. Available from: <https://training.cochrane.org/es/manual-cochrane-de-revisiones-sistemáticas-de-intervenciones>
 200. Hedges L V. Distribution Theory for Glass’s Estimator of Effect size and Related Estimators. *J Educ Stat*. 1981;6(2):107–28.
 201. DerSimonian R, Laird N. Meta-analysis in clinical trials. *Control Clin Trials*. 1986;7(3):177–88.
 202. Series CB. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of*.
 203. Grant J, Hunter A. Measuring inconsistency in knowledgebases. *J Intell Inf Syst*. 2006;27(2):159–84.
 204. Rosenblad A. Introduction to Meta-Analysis by Michael Borenstein, Larry V. Hedges, Julian P.T. Higgins, Hannah R. Rothstein. Vol. 77, *International Statistical Review*. 2009. 478–479 p.
 205. Higgins JPT, Thompson SG. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat Med*. 2002;21(11):1539–58.
 206. da Silva VS, Vieira MFS. International society for the advancement of kinanthropometry (Isak) global: International accreditation scheme of the competent anthropometrist. *Rev Bras Cineantropometria e Desempenho Hum*. 2020;22:1–6.
 207. Mielgo-Ayuso J, Zourdos MC, Calleja-González J, Urdampilleta A, Ostojic SM. Dietary intake habits and controlled training on body composition and strength in elite female volleyball players during the season. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2015;40(8):827–34.
 208. Mielgo-Ayuso J, Calleja-González J, Refoyo I, León-Guereño P, Cordova A, Del Coso J. Exercise-induced muscle damage and cardiac stress during a marathon could be associated with dietary intake during the week before the race. *Nutrients*. 2020;12(2):1–15.
 209. Mielgo-Ayuso J, Maroto-Sánchez B, Luzardo-Socorro R, Palacios G, Palacios Gil-Antuñano N, González-Gross M. Evaluation of nutritional status and energy expenditure in athletes. *Nutr Hosp*. 2015;31:227–36.
 210. De Salles P, Vasconcellos F, De Salles G, Fonseca R, Dantas E. Validity and reproducibility of the sargent jump test in the assessment of explosive strength in soccer players. *J Hum Kinet*. 2012;33(1):115–21.
 211. Irwin CB, Sesto ME. Reliability and Validity of the Multiaxis Profile Dynamometer with Younger and Older Participants. *J Hand Ther*. 2010 Jul;23(3):281–9.
 212. Cronin J, Lawton T, Harris N, Kilding A, McMaster DT. A brief review of handgrip strength and sport performance. *J Strength Cond Res*. 2017;31(11):3187–217.
 213. Taylor P, Diener MH, Golding LA, Diener D. Sports Medicine , Training and Rehabilitation : An International Validity and reliability of a one - minute half sit - up test of abdominal strength and endurance VALIDITY AND RELIABILITY OF A ONE-MINUTE HALF SIT-UP TEST OF ABDOMINAL STRENGTH AND ENDURANC. (June 2013):37–41.

214. Teixeira J, Monteiro LF, Silvestre R, Beckert J, Massuça LM. Age-related influence on physical fitness and individual on-duty task performance of Portuguese male non-elite police officers. *Biol Sport* [Internet]. 2019 [cited 2022 May 15];36(2):163–70. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31223194/>
215. Penry JT, Wilcox AR, Yun J. Validity and reliability analysis of Cooper’s 12-minute run and the multistage shuttle run in healthy adults. *J Strength Cond Res*. 2011;25(3):597–605.
216. Alvero-Cruz JR, Carnero EA, Giráldez García MA, Alacid F, Rosemann T, Nikolaidis PT, et al. Cooper Test Provides Better Half-Marathon Performance Prediction in Recreational Runners Than Laboratory Tests. *Front Physiol*. 2019;10(November):1–9.
217. Ferguson CJ. An Effect Size Primer: A Guide for Clinicians and Researchers. *Prof Psychol Res Pract*. 2009;40(5):532–8.
218. Pruna R, Lizarraga A, Domínguez D. Medical assessment in athletes. *Med Clin (Barc)*. 2018 Apr;150(7):268–74.
219. Pérez-Guisado J, Jakeman PM. Citrulline Malate Enhances Athletic Anaerobic Performance and Relieves Muscle Soreness. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2010 May [cited 2018 Nov 22];24(5):1215–22. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20386132>
220. Robineau J, Marrier B, Le Meur Y, Piscione J, Peeters A, Lacombe M. “Road to Rio”: A Case Study of Workload Periodization Strategy in Rugby-7s During an Olympic Season. *Front Sport Act Living*. 2020;1(January).
221. San Juan AF, Dominguez R, Lago-Rodríguez Á, Montoya JJ, Tan R, Bailey SJ. Effects of Dietary Nitrate Supplementation on Weightlifting Exercise Performance in Healthy Adults: A Systematic Review. *Nutrients* [Internet]. 2020 Aug 1 [cited 2022 May 15];12(8):1–16. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32722588/>
222. Wehrens SMT, Christou S, Isherwood C, Middleton B, Gibbs MA, Archer SN, et al. Meal Timing Regulates the Human Circadian System. *Curr Biol*. 2017 Jun;27(12):1768.
223. Nowatzke W, Sarno MJ, Birch NC, Stickle DF, Eden T, Cole TG. Evaluation of an assay for serum 1,5-anhydroglucitol (GlycoMark™) and determination of reference intervals on the Hitachi 917 analyzer. *Clin Chim Acta*. 2004;350(1–2):201–9.
224. Mehta PH, Welker KM, Zilioli S, Carré JM. Testosterone and cortisol jointly modulate risk-taking. *Psychoneuroendocrinology*. 2015;56:88–99.
225. Russolillo Femenías G, Marques-Lopes I. Láminas de porciones de alimentos a tamaño real. *AUTOR-EDITOR*, editor. Tiebas (Navarra) Spain: *AUTOR-EDITOR*; 2011. 45 p.
226. Valensise H, Andreoli A, Lello S, Magnani F, Romanini C, De Lorenzo A. Total-body skeletal muscle mass: Development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am J Clin Nutr*. 2000;72(3):796–803.
227. Liu T-H, Wu C-L, Chiang C-W, Lo Y-W, Tseng H-F, Chang C-K. No effect of short-term arginine supplementation on nitric oxide production, metabolism and performance in intermittent exercise in athletes. *J Nutr Biochem* [Internet]. 2009 Jun [cited 2019 Apr 11];20(6):462–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18708287>
228. Hurst H, Hurst HT, Sinclair J, Beenham M. Influence of absolute versus relative L-arginine dosage on 1 km and 16.1 km time trial performance in trained cyclists. *J Sci Cycl* [Internet]. 2014;3(1):2–8. Available from: [http://www.jsc-journal.com/ojs/index.php?journal=JSC&page=article&op=view&path\[\]=68](http://www.jsc-journal.com/ojs/index.php?journal=JSC&page=article&op=view&path[]=68)
229. Álvares TS, Conte CA, Paschoalin VMF, Silva JT, Meirelles C de M, Bhamhani YN, et al. Acute L-arginine supplementation increases muscle blood volume but not strength performance. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2012;37(1):115–26.
230. Birol A, Kılınç FN, Deliceoğlu G, Keskin ED. The effect of acute L-arginine supplementation on repeated sprint ability performance. *Prog Nutr*. 2019;21(1):5–11.
231. Abel T, Knechtle B, Perret C, Eser P, Von Arx P, Knecht H. Influence of chronic

- supplementation of arginine aspartate in endurance athletes on performance and substrate metabolism: A randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Int J Sports Med.* 2005;26(5):344–9.
232. A single oral intake of arginine does not affect performance during repeated Wingate anaerobic test - PubMed [Internet]. [cited 2022 May 15]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20308972/>
 233. Vanhatalo A, Bailey SJ, Dimenna FJ, Blackwell JR, Wallis GA, Jones AM. No effect of acute L-arginine supplementation on O₂ cost or exercise tolerance. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(7):1805–19.
 234. Vieira D, Conte-junior CA, Flosi M, Alvares S. *Active Individuals.* 2014;1:1–6.
 235. Da Silva DVT, Conte CA, Paschoalin VMF, Alvares TDS. Hormonal response to L-arginine supplementation in physically active individuals. *Food Nutr Res.* 2014;58:1–6.
 236. Bonilla Ocampo DA, Paipilla AF, Marín E, Vargas-Molina S, Petro JL, Pérez-Idárraga A. Dietary Nitrate from Beetroot Juice for Hypertension: A Systematic Review. *Biomolecules.* 2018;8(4):1–12.
 237. Bode-Böger SM, Böger RH, Galland A, Tsikas D, Frölich JC. L-arginine-induced vasodilation in healthy humans: Pharmacokinetic-pharmacodynamic relationship. *Br J Clin Pharmacol.* 1998;46(5):489–97.
 238. Joyner MJ, Coyle EF, Joyner MJ. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol.* 2008;586:35–44.
 239. Burke LM, Jones AM, Jeukendrup AE, Mooses M. Contemporary nutrition strategies to optimize performance in distance runners and race walkers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2019;29(2):117–29.
 240. Jones AM, Ferguson SK, Bailey SJ, Vanhatalo A, Poole DC. Fiber Type-Specific Effects of Dietary Nitrate. *Exerc Sport Sci Rev.* 2016;44(2):53–60.
 241. Schaefer A, Geny B, Mettauer B, Piquard F, Doutreleau S, Lampert E, et al. L-arginine reduces exercise-induced increase in plasma lactate and ammonia. *Int J Sports Med* [Internet]. 2002;23(6):403–7. Available from: <http://www.mendeley.com/c/6678104961/p/122340771/piquard-2002-l-arginine-reduces-exercise-induced-increase-in-plasma-lactate-and-ammonia/>
 242. Vandewalle H, Peres G, Monod H. Standard Anaerobic Tests. *Sport Med.* 1987;4:268–89.
 243. Driss T, Vandewalle H. The measurement of maximal (Anaerobic) power output on a cycle ergometer: A critical review. *Biomed Res Int.* 2013;2013.
 244. Meckel Y, Machnai O, Eliakim A. Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2009 Jan [cited 2022 May 29];23(1):163–9. Available from: https://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2009/01000/Relationship_Among_Repeated_Sprint_Tests,_Aerobic.26.aspx
 245. San-Millán I, Brooks GA. Assessment of Metabolic Flexibility by Means of Measuring Blood Lactate, Fat, and Carbohydrate Oxidation Responses to Exercise in Professional Endurance Athletes and Less-Fit Individuals. *Sport Med.* 2018;48(2):467–79.
 246. Moran CN, Pitsiladis YP. Tour de France Champions born or made: where do we take the genetics of performance? *J Sports Sci.* 2017;35(14):1411–9.
 247. Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2: A critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ.* 2017;358:1–9.
 248. Potgieter S, Wright H, Smith C. Caffeine Improves Triathlon Performance: A Field Study in Males and Females Authors: *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2014;28(3):228–37.
 249. Bender D, Townsend JR, Vantrease WC, Marshall AC, Henry RN, Heffington SH, et al. Acute beetroot juice administration improves peak isometric force production in adolescent males. *Appl Physiol Nutr Metab* [Internet]. 2018 [cited 2022 May

- 18];43(8):816–21. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29527927/>
250. Bescós R, Sureda A, Tur JA, Pons A. The effect of nitric-oxide-related supplements on human performance. *Sport Med.* 2012;42(2):99–117.
 251. Bailey SJ, Fulford J, Vanhatalo A, Winyard PG, Blackwell JR, DiMenna FJ, et al. Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans. *J Appl Physiol [Internet].* 2010 Jul [cited 2022 May 18];109(1):135–48. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20466802/>
 252. Gao C, Gupta S, Adli T, Hou W, Coolsaet R, Hayes A, et al. The effects of dietary nitrate supplementation on endurance exercise performance and cardiorespiratory measures in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. *J Int Soc Sports Nutr.* 2021;18(1):1–11.
 253. Jones AM, Vanhatalo A, Seals DR, Rossman MJ, Pikhova B, Jonvik KL. Dietary Nitrate and Nitric Oxide Metabolism: Mouth, Circulation, Skeletal Muscle, and Exercise Performance. Vol. 53, *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 2021. 280–294 p.
 254. Hlinský T, Kumstát M, Vajda P. Effects of dietary nitrates on time trial performance in athletes with different training status: Systematic review. *Nutrients.* 2020;12(9):1–18.
 255. Pikhova B, Schechter AN, Park JW, Vanhatalo A, Jones AM. Skeletal Muscle Nitrate as a Regulator of Systemic Nitric Oxide Homeostasis. *Exerc Sport Sci Rev.* 2022;50(1):2–13.
 256. Nyakayiru J, van Loon LJC, Verdijk LB. Could intramuscular storage of dietary nitrate contribute to its ergogenic effect? A mini-review. *Free Radic Biol Med.* 2020;152(August 2019):295–300.
 257. Brownlee KK, Moore AW, Hackney AC. Relationship between circulating cortisol and testosterone: Influence of physical exercise. *J Sport Sci Med.* 2005;4(1):76–83.
 258. Le Plénier S, Goron A, Sotiropoulo A, Archambault E, Guihenneuc C, Walrand S, et al. Citrulline directly modulates muscle protein synthesis via the PI3K/MAPK/4E-BP1 pathway in a malnourished state: Evidence from in vivo, ex vivo, and in vitro studies. *Am J Physiol - Endocrinol Metab.* 2017;312(1):E27–36.
 259. Speer H, D’cunha NM, Davies MJ, McKune AJ, Naumovski N. The physiological effects of amino acids arginine and citrulline: Is there a basis for development of a beverage to promote endurance performance? a narrative review of orally administered supplements. *Beverages.* 2020;6(1):1–11.
 260. Bendahan D, Mattei JP, Ghattas B, Confort-Gouny S, Le Guern ME, Cozzone PJ. Citrulline/malate promotes aerobic energy production in human exercising muscle. *Br J Sports Med.* 2002;36(4):282–9.
 261. Wylie LJ, Park JW, Vanhatalo A, Kadach S, Black MI, Stoyanov Z, et al. Human skeletal muscle nitrate store: influence of dietary nitrate supplementation and exercise. *J Physiol.* 2019;597(23):5565–76.
 262. Liao Y, Su R, Zhang P, Yuan B, Li L. Cortisol inhibits mTOR signaling in avascular necrosis of the femoral head. *J Orthop Surg Res.* 2017;12(1):1–7.
 263. Goron A, Lamarche F, Blanchet S, Delangle P, Schlattner U, Fontaine E, et al. Citrulline stimulates muscle protein synthesis, by reallocating ATP consumption to muscle protein synthesis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2019 Aug;10(4):919–28.
 264. Domínguez R, Garnacho-Castaño MV, Cuenca E, García-Fernández P, Muñoz-González A, de Jesús F, et al. Effects of beetroot juice supplementation on a 30-s high-intensity inertial cycle ergometer test. *Nutrients.* 2017;9(12).
 265. Banfi G, Colombini A, Lombardi G, Lubkowska A. *Metabolic markers in sports medicine.* 1st ed. Vol. 56, *Advances in Clinical Chemistry.* Elsevier Inc.; 2012. 1–54 p.
 266. Baur DA, Bach CW, Hyder WJ, Ormsbee MJ. Fluid retention, muscle damage, and altered body composition at the Ultraman triathlon. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116(3):447–58.
 267. Danielsson T, Carlsson J, Schreyer H, Ahnesjö J, Siethoff L Ten, Ragnarsson T, et al.

- Blood biomarkers in male and female participants after an Ironman-distance triathlon. *PLoS One*. 2017;12(6):1–9.
268. Požgain I, Požgain Z, Degmečić D. Placebo and nocebo effect: A mini-review. *Psychiatr Danub*. 2014;26(2):100–7.
 269. Greenham G, Buckley JD, Garrett J, Eston R, Norton K. Biomarkers of Physiological Responses to Periods of Intensified, Non-Resistance-Based Exercise Training in Well-Trained Male Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. Vol. 48, *Sports Medicine*. Springer International Publishing; 2018. 2517–2548 p.
 270. Original T. *Nutrición Hospitalaria*. 2017;34(5):1155–62.
 271. Grossmann M, Wittert GA. Dysregulation of the Hypothalamic–Pituitary–Testicular Axis due to Energy Deficit. *J Clin Endocrinol Metab* [Internet]. 2021 Nov 19 [cited 2022 May 15];106(12):e4861–71. Available from: <https://academic.oup.com/jcem/article/106/12/e4861/6321941>
 272. Casto K V., Edwards DA. Testosterone, cortisol, and human competition. *Horm Behav*. 2016;82:21–37.
 273. Hotta Y, Kataoka T, Kimura K. Testosterone Deficiency and Endothelial Dysfunction: Nitric Oxide, Asymmetric Dimethylarginine, and Endothelial Progenitor Cells. *Sex Med Rev*. 2019;7(4):661–8.
 274. Habib S, Performance AA-N and ES, 2019 undefined. Role of nitric oxide in sports nutrition. Elsevier [Internet]. [cited 2022 May 15]; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128139226000278>
 275. Rammos C. Potential of dietary nitrate in angiogenesis. *World J Cardiol*. 2015;7(10):652.
 276. Botchlett R, Lawler JM, Wu G. L-Arginine and L-Citrulline in Sports Nutrition and Health [Internet]. *Nutrition and Enhanced Sports Performance: Muscle Building, Endurance, and Strength*. Elsevier Inc.; 2014. 439–446 p. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-396454-0.00045-X>
 277. Daab W, Bouzid MA, Lajri M, Bouchiba M, Saafi MA, Rebai H. Chronic Beetroot Juice Supplementation Accelerates Recovery Kinetics following Simulated Match Play in Soccer Players. *J Am Coll Nutr*. 2021;40(1):61–9.
 278. Morley JE. The mTOR Conundrum: Essential for Muscle Function, but Dangerous for Survival. *J Am Med Dir Assoc*. 2016;17(11):963–6.
 279. Jones RD, Jones TH, Channer KS. The influence of testosterone upon vascular reactivity. *Eur J Endocrinol*. 2004;151(1):29–37.

7. APÉNDICES



“Vas a lograrlo. No va a ser fácil, pero lo conseguirás.”

7.1. APÉNDICE 1. CUESTIONARIOS

7.1.1. Presentación

Logroño, Junio de 2019

Estimado triatleta:

El deporte de alta competición exige, cada vez más, que los métodos de entrenamiento y preparación de los deportistas cuyo objetivo es la consecución del éxito al más alto nivel, evolucionen teniendo en cuenta las características físicas, técnicas y psicológicas de los deportistas que deben ser entrenados, así como su opinión respecto a cuestiones relacionadas con su participación en pruebas, partidos y competiciones. Esta es la tendencia que desde hace años se ha seguido en los países cuyos deportistas, hoy en día, suelen acaparar el mayor número de medallas y primeros puestos a nivel mundial siendo nuestra intención recoger un amplio número que nos permitan hacer lo mismo en España. Por este motivo nos dirigimos a ti ya que consideramos que, como deportista de competición que eres, tus respuestas serán para nosotros de una gran ayuda.

En concreto, se trata de conocer ciertas características nutricionales, antropométricas y personales, así como las opiniones de los deportistas españoles en relación con su participación en las competiciones deportivas. Con este fin, le agradeceríamos que contestase a las preguntas que le adjuntamos.

No existen respuestas mejores o peores. Cada deportista es diferente, razón por la cual le pedimos que conteste con la máxima sinceridad.

El cuestionario es estrictamente confidencial.

Esperamos contar con su valiosa y amable colaboración.

Muchas gracias.

7.1.2. Datos sociodemográficos

Nombre y apellidos:

Fecha de nacimiento:

Edad:

Lugar de nacimiento

Dirección:

C.P.:

Población:

Provincia:

Teléfono móvil:

Correo electrónico:

Nivel de estudios

Sin estudios o estudios incompletos Diplomatura o licenciatura

Estudios elementales/primarios completos NS/NC

Estudios secundarios completos

Estado civil

Soltero/a

Divorciado/a

Casado/a

Viudo/a

Separado/a

Pareja de hecho

Entorno familiar

Vive solo/a

Vive en familia/con familiares

¿Tiene hijos? No

Sí Indicar número:

7.1.3. Datos deportivos

- Modalidad deportiva en la que suele competir (si usted es triatleta indique la distancia): _____
- Máxima categoría en la que has competido: _____
- Número de años durante los que has permanecido en la máxima categoría: _____
- Número de años, en la que de forma continuada vienes practicando su deporte: _____
- ¿Cuáles han sido los mayores logros conseguidos, tanto de forma individual como colectiva?

ACONTECIMIENTO Y ÉXITO (puesto, marca, ...)	AÑO

7.1.4. Antecedentes familiares

Por favor, mencione cualquier antecedente de las siguientes afecciones ocurridas en su familia directa (padres, abuelos, tíos, hermanos):

- Sobrepeso – obesidad No Sí
- Hipertensión arterial No Sí
- Dislipemia (hipercolesterolemia, hipertrigliceridemia) No Sí
- Diabetes/Intolerancia a la glucosa No Sí
- Afecciones cardiovasculares (angina de pecho, infarto, arritmia)
 No Sí

7.1.5. Antecedentes personales

¿Es usted alérgico/a a algún medicamento?

No Sí Especificar:

¿Toma algún medicamento, incluyendo píldora anticonceptiva, isoflavonas de soja y suplementos dietético y vitamínico-minerales?

No Sí Especificar:

¿Se ha sometido a alguna intervención quirúrgica (incluyendo cirugía plástica)?

No Sí Especificar:

¿Ha padecido o padece alguna de las siguientes afecciones?

- Hipertensión arterial No Sí
- Dislipemia (hipercolesterolemia, hipertrigliceridemia) No Sí
- Afecciones cardiovasculares (angina de pecho, infarto, arritmia...)
 No Sí
- Estreñimiento habitual No Sí
- Enfermedades hepáticas (hepatitis, litiasis biliar...) No Sí
- Enfermedades del aparato digestivo (gastritis, úlcera, hernia de hiato...)
 No Sí
- Enfermedades broncopulmonares (asma, bronquitis crónica...)
 No Sí
- Diabetes No Sí
- Afecciones osteoarticulares (osteoporosis, artritis, artrosis...)
 No Sí
- Afecciones cutáneas (atopia, eccema, psoriasis...) No Sí
- Cáncer o leucemia No Sí
- Trastornos del sueño (insomnio...) No Sí
- Depresión o ansiedad No Sí
- Otros (especificar) No Sí
- ¿Fuma usted? No he fumado nunca Ex fumador/a Fumador

7.1.6. Historia ponderal

Durante su infancia, usted considera que presentaba:

- Delgadez Peso normal Sobrepeso
 Obesidad

Durante su adolescencia, usted considera que presentaba:

- Delgadez Peso normal Sobrepeso
 Obesidad

Durante su vida adulta, usted ha presentado:

- Peso estable Peso inestable (yo-yo)

Si su peso es estable, usted considera que presenta:

- Delgadez Peso normal Sobrepeso
 Obesidad

Si su peso es estable, ¿cuál es su peso habitual?

¿Cuál ha sido su peso máximo durante su vida adulta? Kg
¿cuándo? Años

¿Cuál ha sido su peso mínimo durante su vida adulta? Kg
¿cuándo? Años

¿Ha hecho tratamientos previamente para disminuir peso? No Sí

En caso de respuesta afirmativa a la pregunta anterior, especifique (tipo/fecha):

1. 2.

¿Está tomando algún tipo de complemento dietético para adelgazar?
 No Sí

¿Está llevando algún tratamiento homeopático o pautado por un naturópata?
 No Sí

7.1.7. Datos dietéticos

- Número de comidas que acostumbra a realizar, ¿Cuáles?

- Lugar y entorno social de las comidas (dónde y con quién)

- Horarios

- Hábito de picar alimentos entre comidas

- Responsable de preparar las comidas

- Responsable de la compra de los alimentos

- Preferencias alimentarias

- Aversiones alimentarias

- Sensación de apetito

- Momento del día de mayor sensación de apetito

- ¿Come muy rápido, sin masticar mucho o de forma compulsiva?

- Seguimiento anterior de tratamientos dietéticos

- ¿Cuántas veces y qué tipo de tratamientos?

- Tipos de cocción utilizados con mayor frecuencia

7.1.8. Hábitos de hidratación

- ¿Qué tipos y marcas de bebidas consumes?

ANTES DEL EJERCICIO

Sales de hidratación:

Bebidas deportivas:

Agua:

Energizantes:

Otros: Especificar:

No ingiere: ¿Porque?

DURANTE EL EJERCICIO

Sales de hidratación:

Bebidas deportivas:

Agua:

Energizantes:

Otros: Especificar:

No ingiere: ¿Porque?

DESPUES DEL EJERCICIO

Sales de hidratación:

Bebidas deportivas:

Agua:

Energizantes:

Otros: Especificar:

No ingiere: ¿Porque?

- ¿A que temperatura ingiere los líquidos?

	ANTES DEL EJERCICIO	DESPUES DEL EJERCICIO
Helado		
Ambiente		
Caliente		

- ¿Con que frecuencia ingiere líquidos antes del ejercicio?

Cada vez que siente sed:

Cada hora:

Cada 2 horas:

- ¿Con que frecuencia ingiere líquidos durante el ejercicio?
Cada 15 minutos:
Cada 30 minutos:
Cada hora:
Cada vez que siente sed:
- ¿Con que frecuencia ingiere líquidos después del ejercicio?
Inmediatamente:
Cada 30 minutos:
Cada hora:
Cada 2 horas:
- ¿Qué cantidad de líquidos ingieres antes del entrenamiento?
Menos de 1 vaso (225 ml):
Entre 1 y 2 vasos:
Más de 2 vasos:
- ¿Qué cantidad de líquidos ingieres durante el entrenamiento?
Menos de 0,5 litros:
Entre 0,5 – 1 L:
Más de 1 L:
- ¿Qué cantidad de líquidos ingieres después del entrenamiento?
Menos de 1 L:
Entre 1 – 2 L:
Más de 2 L:

7.1.9. Cuestionario de salud general De Goldberg – GHQ28-

Recuerde que solo debe responder sobre los problemas recientes, no sobre los que tuvo en el pasado. Es importante intente contestar TODAS las preguntas. Muchas gracias.

A	B
A.1. ¿Se ha sentido perfectamente bien de salud y en plena forma?	B.1. ¿Sus preocupaciones le han hecho perder mucho sueño?
<input type="checkbox"/> Mejor que lo habitual	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> Igual que lo habitual	<input type="checkbox"/> No más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Peor que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho peor que lo habitual	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.
A.2. ¿Ha tenido la sensación de que necesitaba reconstituyente?	B.2. ¿Ha tenido dificultades para seguir durmiendo de un tirón toda la noche?
<input type="checkbox"/> No, en absoluto	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> No más que lo habitual	<input type="checkbox"/> No más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.
A.3. ¿Se ha sentido agotado y sin fuerzas para nada?	B.3. ¿Se ha notado constantemente agobiado y en tensión?
<input type="checkbox"/> No, en absoluto	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> No más que lo habitual	<input type="checkbox"/> No más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.
A.4. ¿Ha tenido sensación de que estaba enfermo?	B.4. ¿Se ha sentido con los nervios a flor de piel y malhumorado?
<input type="checkbox"/> No, en absoluto	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> No más que lo habitual	<input type="checkbox"/> No mas que lo habitual
<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.
A.5. ¿Ha padecido dolores de cabeza?	B.5. ¿Se ha asustado o ha tenido pánico sin motivo?
<input type="checkbox"/> No, en absoluto	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> No más que lo habitual	<input type="checkbox"/> No mas que lo habitual
<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.
A.6. ¿Ha tenido sensación de opresión en la cabeza, o de que la cabeza le va a estallar?	B.6. ¿Ha tenido sensación de que todo se le viene encima?
<input type="checkbox"/> No, en absoluto	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> No más que lo habitual	<input type="checkbox"/> No mas que lo habitual
<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.
A.7. ¿Ha tenido oleadas de calor o escalofríos?	B.7. ¿Se ha notado nervioso y "a punto de explotar" constantemente?
<input type="checkbox"/> No, en absoluto	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> No más que lo habitual	<input type="checkbox"/> No mas que lo habitual
<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual.

C	D
C.1. Se las ha arreglado para mantenerse ocupado y activo?	D.1. ¿ Ha pensado que usted es una persona que no vale para nada?
<input type="checkbox"/> Más activo que lo habitual	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> Igual que lo habitual	<input type="checkbox"/> No más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Bastante menos que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho menos que lo habitual	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual
C.2. ¿Le cuesta más tiempo hacer las cosas?	D.2. ¿Ha estado viviendo la vida totalmente sin esperanza?
<input type="checkbox"/> Menos tiempo que lo habitual	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> Igual que lo habitual	<input type="checkbox"/> No más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Más tiempo que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho más tiempo que lo habitual	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual
C.3. ¿Ha tenido la impresión, en conjunto, de que está haciendo las cosas bien?	D.3. ¿Ha tenido el sentimiento de que la vida no merece la pena vivirse?
<input type="checkbox"/> Mejor que lo habitual	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> Igual que lo habitual	<input type="checkbox"/> No más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Peor que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho peor que lo habitual	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual
C.4. ¿Se ha sentido satisfecho con su manera de hacer las cosas?	D.4. ¿Ha pensado en la posibilidad de "quitarse de en medio"?
<input type="checkbox"/> Más satisfecho que lo habitual	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> Igual que lo habitual	<input type="checkbox"/> No más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Menos satisfecho que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho menos satisfecho que lo habitual	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual
C.5. ¿Ha sentido que está desempeñando un papel útil en la vida?	D.5. ¿Ha notado que a veces no puede hacer nada porque tiene los nervios desquiciados?
<input type="checkbox"/> Más útil de lo habitual	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> Igual de útil que lo habitual	<input type="checkbox"/> No más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Menos útil de lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho menos útil de lo habitual	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual
C.6. ¿Se ha sentido capaz de tomar decisiones?	D.6. ¿Ha notado que desea estar muerto y lejos de todo?
<input type="checkbox"/> Más que lo habitual	<input type="checkbox"/> No, en absoluto
<input type="checkbox"/> Igual que lo habitual	<input type="checkbox"/> No más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Menos que lo habitual	<input type="checkbox"/> Bastante más que lo habitual
<input type="checkbox"/> Mucho menos que lo habitual	<input type="checkbox"/> Mucho más que lo habitual
C.7. ¿Ha sido capaz de disfrutar de sus actividades normales de cada día?	D.7. ¿Ha notado que la idea de quitarse la vida le viene repentinamente a la cabeza?
<input type="checkbox"/> Más que lo habitual	<input type="checkbox"/> Claramente, no
<input type="checkbox"/> Igual que lo habitual	<input type="checkbox"/> Me parece que no
<input type="checkbox"/> Menos que lo habitual	<input type="checkbox"/> Se me ha cruzado por la mente
<input type="checkbox"/> Mucho menos que lo habitual	<input type="checkbox"/> Claramente, lo he pensado

7.1.10. SCAT (Sport Competition Anxiety Test)

ITEMS	CASI NUNCA	ALGUNAS VECES	A MENUDO
1. Competir contra otros es divertido.			
2. Antes de competir me siento agitado.			
3. Antes de competir me preocupo por no rendir bien.			
4. Soy buen deportista cuando compito.			
5. Cuando compito me preocupo por cometer errores.			
6. Antes de competir estoy calmado.			
7. Establecer un objetivo es importante cuando se compite.			
8. Antes de competir tengo una sensación rara en el estómago.			
9. Justo antes de competir noto que mi corazón late más deprisa que de costumbre.			
10. Me gusta competir en actividades que exigen mucha energía física.			
11. Antes de competir me siento relajado.			
12. Antes de competir me siento nervioso.			
13. Los deportes de equipo son más excitantes que los deportes individuales.			
14. Me pongo nervioso queriendo que empiece la competición (el partido, la prueba, etc.).			
15. Antes de competir generalmente me encuentro tenso.			

7.1.11. STAI (State Trait Anxiety Inventory)

ITEMS	NADA	ALGO	BASTANTE	MUCHO
1. Me siento calmado				
2. Me siento seguro.				
3. Estoy tenso.				
4. Estoy contrariado.				
5. Me siento cómodo (estoy a gusto).				
6. Me siento alterado.				
7. Estoy preocupado ahora por posibles desgracias futuras.				
8. Me siento descansado.				
9. Me siento angustiado.				
10. Me siento confortable.				
11. Tengo confianza en mí mismo.				
12. Me siento nervioso.				
13. Estoy desasosegado.				
14. Me siento muy "atado" (como oprimido).				
15. Estoy relajado.				
16. Me siento satisfecho.				
17. Estoy preocupado.				
18. Me siento aturdido y sobreexcitado.				
19. Me siento alegre.				
20. En este momento me siento bien.				

7.1.12. Cuestionario de Oviedo del sueño

Durante el último mes

1. ¿Cómo de satisfecho ha estado con su sueño?

1	Muy insatisfecho
2	Bastante insatisfecho
3	Insatisfecho
4	Término medio
5	Satisfecho
6	Bastante satisfecho
7	Muy satisfecho

2. ¿Cuántos días a la semana ha tenido dificultades para

		Ninguno	1-2 días	3 días	4-5 días	6-7 días
2.1	Conciliar el sueño	1	2	3	4	5
2.2	Permanecer dormido	1	2	3	4	5
2.3	Lograr un sueño reparador	1	2	3	4	5
2.4	Despertar a la hora habitual	1	2	3	4	5
2.5	Excesiva somnolencia	1	2	3	4	5

3. ¿Cuánto tiempo ha tardado en dormirse, una vez que lo intentaba?

1	0-15 minutos
2	16-30 minutos
3	31-45 minutos
4	46-60 minutos
5	más de 60 minutos

4. ¿Cuántas veces se ha despertado por la noche?

1	Ninguna vez
2	1 vez
3	2 veces
4	3 veces
5	más de 3 veces

Si normalmente se despertó Vd. piensa que se debe a... (Información clínica)

- a) Dolor
- b) Necesidad de orinar
- c) Ruido
- d) Otros. Especificar.

5. ¿Ha notado que se despertaba antes de lo habitual? En caso afirmativo ¿Cuánto tiempo antes?

1	Se ha despertado como siempre
2	Media hora antes
3	1 hora antes
4	Entre 1 y 2 horas antes
5	Más de 2 horas antes

6. Eficiencia del sueño (horas dormidas/horas en cama) Por término medio, ¿Cuántas horas ha dormido cada noche? _____ ¿Cuántas horas ha permanecido habitualmente en la cama? _____

1	91-100%
2	81-90%
3	71-80%
4	61-70%
5	60% o menos

7. Cuántos días a la semana ha estado preocupado/a o ha notado cansancio o disminución en su funcionamiento sociolaboral por no haber dormido bien la noche anterior?

1	Ningún día
2	1-2 días/semana
3	3 días/semana
4	4-5 días/semana
5	6-7 día/semana

8. ¿Cuántos días a la semana se ha sentido demasiado somnoliento, llegando a dormirse durante el día o durmiendo más de lo habitual por la noche?

1	Ningún día
2	1-2 días/semana

3	3 días/semana
4	4-5 días/semana
5	6-7 día/semana

9. Si se ha sentido con demasiado sueño durante el día o ha tenido períodos de sueño diurno
¿Cuántos días a la semana ha estado preocupado o ha notado disminución en su funcionamiento socio-laboral por ese motivo?

1	Ningún día
2	1-2 días/semana
3	3 días/semana
4	4-5 días/semana
5	6-7 días/semana

10. ¿Cuántos días a la semana ha tenido (o le han dicho que ha tenido)? (Información clínica)

		Ninguno	1-2 días	3 días	4-5 días	6-7 días
a)	Ronquidos	1	2	3	4	5
b)	Ronquidos con ahogo	1	2	3	4	5
c)	Movimientos de las piernas	1	2	3	4	5
d)	Pesadillas	1	2	3	4	5
e)	Otros	1	2	3	4	5

11. ¿Cuántos días a la semana ha tomado fármacos o utilizado cualquier otro remedio (infusiones, aparatos, etc.), prescrito o no, para ayudarse a dormir? (Información clínica)

a	Ningún día
b	1-2 días/semana
c	3 días/semana
d	4-5 días/semana
e	6-7 día/semana

Si ha utilizado alguna ayuda para dormir (pastillas, hierbas, aparatos, etc.), describir

7.1.13. Valoración de adherencia a la dieta mediterránea

Nº	Pregunta	Modo de Valoración	Puntos
1	¿ Usa el aceite de oliva como principal grasa para cocinar ?	Si = 1 punto	
2	¿ Cuanto aceite de oliva consume en total al día (incluyendo el usado para freír, comidas fuera de casa, ensaladas, etc...) ?	2 ó mas cucharadas = 1 punto	
3	¿ Cuantas raciones de verduras u hortalizas consume al día (1 ración = 200 g. Las guarniciones o acompañamientos = ½ ración) ?	2 ó más (al menos 1 de ellas en ensalada o crudas) = 1 punto	
4	¿ Cuantas piezas de fruta (incluyendo zumo natural) consume al día ?	3 ó más = 1 punto	
5	¿ Cuantas raciones de carnes rojas, hamburguesas, salchichas o embutidos consume al día (1 ración = 100-150 g) ?	Menos de 1 = 1 punto	
6	¿ Cuantas raciones de mantequilla, margarina o nata consume al día (porción individual = 12 g) ?	Menos de 1 = 1 punto	
7	¿ Cuantas bebidas carbonatadas y/o azucaradas (refrescos, colas, tónicas, bitter) consume al día ?	Menos de 1 = 1 punto	
8	¿ Bebe vino ? ¿ Cuanto consume a la semana ?	3 ó más vasos = 1 punto	
9	¿ Cuantas raciones de legumbres consume a la semana (1 plato o ración = 150 g) ?	3 ó más = 1 punto	
10	¿ Cuantas raciones de pescado/mariscos consume a la semana (1 plato, pieza o ración = 100-150 g de pescado ó 4-5 piezas ó 200 g de marisco) ?	3 ó más = 1 punto	
11	¿ Cuantas veces consume repostería comercial (no casera, como: galletas, flanes, dulces, bollería, pasteles) a la semana ?	Menos de 3 = 1 punto	
12	¿ Cuantas veces consume frutos secos a la semana (1 ración = 30 g) ?	1 ó más = 1 punto	
13	¿ Consume preferentemente carne de pollo, pavo o conejo en vez de ternera, cerdo, hamburguesas o salchichas (carne de pollo, pavo o conejo: 1 pieza o ración de 100-150 g)?	Si = 1 punto	
14	¿ Cuantas veces a la semana consume los vegetales cocinados, la pasta, arroz u otros platos aderezados con salsa de tomate, ajo, cebolla o puerro elaborada a fuego lento con aceite de oliva (sofrito) ?	2 ó más = 1 punto	
		Puntuación Total ¹	
	Resultado Final ²		

7.1.14. Cuestionario de frecuencias

	Para cada alimento, marque el recuadro que indica la frecuencia de consumo por término medio durante los 2 últimos meses .								
	CONSUMO MEDIO DURANTE LOS 2 ULTIMOS MESES								
		AL MES	A LA SEMANA			AL DÍA			
	NUNCA O CASI NUNCA	1-3	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4	5 ó +
I – LACTEOS									
1. Leche entera (1 taza, 200 cc)									
2. Leche semidesnatada (1 taza, 200 cc)									
3. Leche descremada (1 taza, 200 cc)									
4. Leche condensada (1 cucharada)									
5. Nata o crema de leche (1/2 taza)									
6. Batidos de leche (1 vaso, 200 cc)									
7. Yogurt entero (1, 125 gr)									
8. Yogurt descremado (1, 125 gr)									
9. Petit suisse (1, 55 g)									
10. Requesón o cuajada (1/2 taza)									
11. Queso en porciones o cremoso (1, porción 25 g)									
12. Otros quesos: curados, semicurados (Manchego, Bola, Emmental...) (50 gr)									
13. Queso blanco o fresco (Burgos, cabra...) (50 gr)									
14. Natillas, flan, puding (1, 130 cc)									
15. Helados (1 cucurucho)									

		AL	A LA SEMANA				AL DÍA			
		MES	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4	5 ó +	
II- HUEVOS, CARNES, PESCADOS (Un plato o ración de 100-150 gr, excepto cuando se indique otra cosa)	NUNCA O CASI NUNCA	1-3	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4	5 ó +	
16. Huevos de gallina (uno)										
17. Pollo o pavo con piel (1 ración o pieza)										
18. Pollo o pavo sin piel (1 ración o pieza)										
19. Carne de ternera o vaca (1 ración)										
20. Carne de cerdo (1 ración)										
21. Carne de cordero (1 ración)										
22. Conejo o liebre (1 ración)										
23. Hígado (ternera, cerdo, pollo) (1 ración)										
24. Otras vísceras (sesos, riñones, mollejas) (1 ración)										
25. Jamón serrano o paletilla (1 loncha, 30 g)										
26. Jamón York, jamón cocido (1 loncha, 30 g)										
27. Carnes procesadas (salchichón, chorizo, morcilla, mortadela, salchichas, butifarra, sobrasada, 50 g)										
28. Patés, foie-gras (25 g)										
29. Hamburguesa (una, 50 g), albóndigas (3unidades)										
30. Tocino, bacón, panceta (50 g)										
31. Pescado blanco: mero, lenguado, besugo, merluza, pescadilla,... (1 plato, pieza o ración)										
32. Pescado azul: sardinas, atún, bonito, caballa, salmón, (1 plato, pieza o ración 130 g)										
33. Pescados salados: bacalao, mejillones,... (1 ración, 60 g en seco)										
34. Ostras, almejas, mejillones y similares (6 unidades)										
35. Calamares, pulpo, chipirones, jibia (sepia) (1 ración, 200 g)										
36. Crustáceos: gambas, langostinos, cigalas, etc. (4-5 piezas, 200 g)										
37. Pescados y mariscos enlatados al natural (sardinas, anchoas, bonito, atún) (1 lata pequeña o media lata normal, 50 g)										
38. Pescados y mariscos en aceite (sardinas, anchoas, bonito, atún) (1 lata pequeña o media lata normal, 50 g)										

		AL	A LA SEMANA			AL DÍA			
		MES	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4	5 ó +
III - VERDURAS Y HORTALIZAS (Un plato o ración de 200 g ,excepto cuando se indique)	NUNCA O CASI NUNCA	1-3							
39. Acelgas, espinacas									
40. Col, coliflor, brócoles									
41. Lechuga, endivias, escarola (100 g)									
42. Tomate crudo (1, 150 g)									
43. Zanahoria, calabaza (100 g)									
44. Judías verdes									
45. Berenjenas, calabacines, pepinos									
46. Pimientos (150 g)									
47. Espárragos									
48. Gazpacho andaluz (1 vaso, 200 g)									
49. Otras verduras (alcachofa, puerro, cardo, apio)									
50. Cebolla (media unidad, 50 g)									
51. Ajo (1 diente)									
52. Perejil, tomillo, laurel, orégano, etc. (una pizca)									
53. Patatas fritas comerciales (1 bolsa, 50 g)									
54. Patatas fritas caseras (1 ración, 150 g)									
55. Patatas asadas o cocidas									
56. Setas, niscalos, champiñones									

		AL MES	A LA SEMANA			AL DIA						
		1-3	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4	5 ó +			
IV – FRUTAS (una pieza o ración)	NUNCA O CASI NUNCA											
57. Naranja (una), pomelo (uno), mandarinas (dos)												
58. Plátano (uno)												
59. Manzana o pera (una)												
60. Fresas/fresones (6 unidades, 1 plato postre)												
61. Cerezas, picotas, ciruelas (1 plato de postre)												
62. Melocotón, albaricoque, nectarina (una)												
63. Sandía (1 tajada, 200-250 g)												
64. Melón (1 tajada, 200-250 g)												
65. Kiwi (1 unidad, 100 g)												
66. Uvas (un racimo, 1 plato postre)												
67. Aceitunas (10 unidades)												
68. Frutas en almíbar o en su jugo (2 unidades)												
69. Dátiles, higos secos, uvas-pasas, ciruelas-pasas (150 g)												
70. Almendras, cacahuetes, avellanas, pistachos, piñones (30 g)												
71. Nueces (30 g)												
72 ¿Cuántos días a la semana tomas fruta como postre?						1	2	3	4	5	6	7

		AL MES	A LA SEMANA			AL DÍA			
V- LEGUMBRES Y CEREALES (1 Plato o ración 150 g)	NUNCA O CASI NUNCA	1-3	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4	5 ó +
73. Lentejas (1 plato, 150 g cocidas)									
74. Alubias (pintas, blancas o negras) (1 plato, 150 g cocidas)									
75. Garbanzos (1 plato, 150 g cocidos)									
76. Guisantes, habas (1 plato, 150 g cocidos)									
77. Pan blanco, pan de molde (3 rodajas, 75 g)									
78. Pan negro o integral (3 rodajas, 75 g)									
79. Cereales desayuno (30 g)									
80. Cereales integrales: muesli, copos avena, all-bran (30 g)									
81. Arroz blanco (60 g en crudo)									
82. Pasta: fideos, macarrones, espaguetis, otras (60 g en crudo)									
83. Pizza (1 ración, 200 g)									

		AL MES	A LA SEMANA			AL DÍA			
VI- ACEITES Y GRASAS Una cucharada sopera o porción individual Para freír, untar, mojar en el pan, para aliñar, o para ensaladas, utilizas en total:	NUNCA O CASI NUNCA	1-3	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4	5 ó +
84. Aceite de oliva (una cucharada sopera)									
87. Aceite de maíz (una cucharada sopera)									
88. Aceite de girasol (una cucharada sopera)									
89. Aceite de soja (una cucharada sopera)									
91. Margarina (porción individual, 12 g)									
92. Mantequilla (porción individual, 12 g)									
93. Manteca de cerdo (10 g)									

VII- BOLLERIA Y PASTERIA	NUNCA O CASI NUNCA	AL MES	A LA SEMANA			AL DÍA			
		1-3	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4	5 ó +
94. Galletas tipo maría (4-6 unidades, 50 g)									
95. Galletas integrales o de fibra (4-6 unidades, 50 g)									
96. Galletas con chocolate (4 unidades, 50 g)									
97. Repostería y bizcochos hechos en casa (50 g)									
98. Croissant, ensaimada, pastas de té u otra bollería industrial comercial... (uno, 50 g)									
99. Donuts (uno)									
100. Magdalenas (1-2 unidades)									
101. Pasteles (uno, 50 g)									
102. Churros, porras y similares (1 ración, 100 g)									
103. Chocolates y bombones (30 g)									
104. Cacao en polvo- cacaos solubles (1 cucharada de postre)									
105. Turrón (1/8 barra, 40 g)									
106. Mantecados, mazapán (90 g)									

VIII- MISCELANEA	NUNCA O CASI NUNCA	AL MES	A LA SEMANA			AL DÍA			
		1-3	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4	5 ó +
107. Croquetas, buñuelos, empanadillas, precocinados (una)									
108. Sopas y cremas de sobre (1 plato)									
109. Mostaza (una cucharadita de postre)									
110. Mayonesa comercial (1 cucharada sopera = 20 g)									
111. Salsa de tomate frito, ketchup (1 cucharadita)									
112. Picante: tabasco, pimienta, pimentón (una pizca)									
113. Sal (una pizca)									
114. Mermeladas (1 cucharadita)									
115. Azúcar (1 cucharadita)									
116. Miel (1 cucharadita)									
117. Snacks distintos de patatas fritas: gusanitos, palomitas, maíz, etc. (1 bolsa, 50 g)									
118. Otros alimentos de frecuente consumo (especificar):									

IX- BEBIDAS	NUNCA O CASI NUNCA	AL MES	A LA SEMANA				AL DÍA			
		1-3	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4	5 ó +	
119. Bebidas carbonatadas con azúcar (1 botellín, 200 cc)										
120. Bebidas carbonatadas bajas en calorías, bebidas light (1 botellín, 200 cc)										
121. Zumo de naranja natural (1 vaso, 200 cc)										
122. Zumos naturales de otras frutas (1 vaso, 200 cc)										
123. Zumos de frutas en botella o enlatados (200 cc)										
124. Café descafeinado (1 taza, 50 cc)										
125. Café (1 taza, 50 cc)										
126. Té (1 taza, 50 cc)										
127. Mosto (100 cc)										
128. Vaso de vino rosado (100 cc)										
130. Vaso de vino tinto (100 cc)										
132 Vaso de vino blanco (100 cc)										
134. Cerveza (1 jarra, 330 cc)										
135. Licores, anís o anisetes ... (1 copa, 50 cc)										
136. Destilados: whisky, vodka, ginebra, coñac (1 copa, 50 cc)										
137. ¿A qué edad empezaste a beber alcohol (vino, cerveza o licores), incluyendo el que tomas con las comidas con regularidad (más de siete "bebidas" a la semana)?						0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9			
138. ¿Cuántos años has bebido alcohol con regularidad (más de siete bebidas a la semana)?						0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9			

Si durante el año pasado tomaste vitaminas y/o minerales (incluyendo calcio) o productos dietéticos especiales (salvado, aceite de onagra, leche con ácidos grasos omega-3, flavonoides, etc.), por favor indica la marca y la frecuencia con que los tomaste:

Marcas de los suplementos de vitaminas o minerales o de los productos dietéticos	NUNCA O CASI NUNCA	AL MES NUNCA O CASI NUNCA	A LA SEMANA			AL DÍA			
			1-3	1-2	3-4	5-6	1	2	3-4
139.									
140.									
141.									
142.									
143.									
144.									
145.									

7.1.15. Registro semanal de comidas

Instrucciones de relleno:

En el presente cuestionario se deben anotar todos los alimentos, bebidas, suplementos, dietéticos y preparados consumidos durante el plazo de **siete días**. Para cada día dispones de una hoja. En caso de faltar espacio puedes seguir por detrás de la hoja.

Es muy importante no cambiar el régimen habitual de comidas.

Para evitar que se olvide algún alimento, conviene **anotar todo inmediatamente después de comer**. No olvide indicar todos los ingredientes de cada receta.

Se deben registrar todos los alimentos, bebidas y preparados, sin olvidar aquellos que hayan sido tomados entre horas: cafés, cervezas, aperitivos, comprimidos, soluciones, golosinas, etc. No olvide los vasos de agua o de otras bebidas tomados en la comida o entre comidas.

Detalle todos los ingredientes de cada una de las comidas del día, aportando el máximo número de datos que sea posible. Lo ideal es poder pesar todo lo que coma, pero si esto es imposible, especifique la cantidad en medidas caseras: vasos, tazas, cucharadas, ... por ejemplo:

- Indique, en caso de tenerla, la marca comercial.
- Especifique si el alimento es **normal, bajo en calorías o enriquecido**. Por ejemplo, si la leche es entera, desnatada o semidesnatada o el yogurt entero, desnatado o enriquecido.
- **Tipo de queso:** en porciones, manchego, roquefort, ...
- **Mantequilla o margarina.**
- **Bebidas:** las cantidades se pueden expresar en vasos, tazas, copas... de no disponer de medidas de volumen.
- **Sopas, caldos o purés:** emplee tazas o platos (grande, mediano o pequeño).
- **Carnes, pescados, verduras, hortalizas y frutas:** estime la cantidad consumida teniendo en cuenta la cantidad comprada y el número de piezas o porciones que entraron en la compra. De no tener estos datos indique número y tamaño de las porciones consumidas.
- **Legumbres:** considere el tamaño del envase del que se partía y divídalo entre el número de raciones resultantes en el caso de que fueran todas iguales. O bien señale el tamaño aproximado de la ración indicando número de cucharadas servidas, cazos, tamaño del plato...
- **Indicar el tipo de aceite** (oliva, girasol, ...): indique el número y tipo de cucharadas (soperas, postre o café) añadidas a los guisos.
- **Salsas o azúcar:** apunte el número de cucharadas, su tamaño y si son rasas o colmadas. Especifique si se tomaron o se dejaron en el plato.
- **Pan:** Indique tipo (blanco, integral, molde), número de rebanadas o trozos y tamaño aproximado de las porciones.

- **Embutidos:** anote el número de lonchas y su grosor.

- En el caso de preparados, suplementos o dietéticos indique el número de comprimidos, sobres, cucharadas y la marca.

Cualquier duda o aclaración que quiera hacer constar al ir rellenando el cuestionario, puede anotarla en la parte posterior de las hojas del mismo.

DÍA	Hora y lugar	Descripción de alimentos o preparaciones	Cantidad	Unidad de medida	Peso en gramos de la unidad de medida*
DESAYUNO					
ALMUERZO					
COMIDA					
MERIENDA					
CENA					
ENTRE HORAS					

Cantidad: Pesar o emplear medidas comunes (taza, rebanada, plato hondo, ...).

Descripción del alimento: pan normal o integral, verdura fresca, congelada o enlatada, carne magra o grasa, tipo de queso, fruta con o sin piel.

7.2. APÉNDICE 2. INFORME FAVORABLE DEL COMITÉ DE ÉTICA



universidad
de león

Vicerrectorado de Investigación
Comité de Ética

Dña. Sonia Martínez Martínez, como Secretaria del Comité de Ética de la Universidad de León.

CERTIFICA:

Que la solicitud de ETICA-ULE-020-2020, titulada **“EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON CITRULINA, ARGININA Y NITRATO EN RENDIMIENTO DEL TRIATLÓN”** presentada por el Dr. Jesús Seco Calvo ha recibido una **Evaluación favorable** por parte del Comité de Ética de la Universidad de León.

Para emitir el informe los miembros de este Comité han verificado que la solicitud cumple con los requisitos recogidos en el artículo 4 del Reglamento del Comité de Ética de la Universidad de León y que son, según sea el caso:

- Comprobar la adecuación tanto del modelo como del procedimiento utilizado para obtener el consentimiento informado de la persona que participa o de la que se obtiene el material biológico.
- Velar por la garantía de la confidencialidad de los datos personales de los sujetos que participan en el procedimiento.
- Supervisar la idoneidad y acreditación de todos los participantes en los protocolos.

Y para que conste a los efectos oportunos firmo el presente certificado en León a 18 de junio de 2020.

Fdo.: Dra. Sonia Martínez Martínez
Secretaria del Comité de Ética
Universidad de León

7.3. APÉNDICE 3. CONSENTIMIENTO INFORMADO

TITULO DEL PROYECTO:

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON CITRULINA Y/O NITRATOS EN LA RECUPERACIÓN Y EL RENDIMIENTO DEL TRIATLÓN

ACRÓNIMOS: EFECT SUPL CIT Y/O NIT REC Y RENDIM TRI

Yo, D....., mayor de edad, y con D.N.I.....,

DECLARO:

Que he entendido la información que se me ha facilitado acerca del trabajo de investigación en el que voy a tomar parte voluntariamente. Este es un estudio que analiza la suplementación con citrulina y/o nitratos (extracto de remolacha) durante 9 semanas y su repercusión en los cambios hematológicos, bioquímicos, antropométricos y de rendimiento. Las mediciones se realizarán tanto antes de empezar el estudio como al acabar las 9 semanas de suplementación, por lo que serán 2 mediciones. Estas se realizarán de 8 de la mañana a 1 de la tarde. Las intervenciones que se me van a realizar son:

1. Cuestionario con preguntas sobre hábitos, enfermedades, operaciones, lesiones, historial deportivo, entrenamiento habitual y esfuerzo realizado en la prueba.
2. Antropometría: talla, peso y medidas de los pliegues de grasa, diámetros y perímetros corporales previa competición, durante competición y post-competición.
3. Encuesta nutricional: auto-registro de ingesta de siete días (previo, durante y post competición)
4. Cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos (previo, durante y post competición).
5. Extracción de sangre de la vena antecubital tras estar 30 minutos sentados. Se efectuarán a las 8:30 de la mañana, no habiendo entrenado durante las últimas 36 horas y estando al menos 12 horas de ayuno. Las extracciones se realizarán en el Hospital San Pedro por un enfermero especialista en medicina del deporte.
6. Realización de diferentes test para el cálculo de umbrales físicos relacionados con el rendimiento deportivo.

He tenido la oportunidad de comentar y preguntar los detalles de dicha información.

Entiendo que puedo abandonar el estudio en cualquier momento que yo crea oportuno.

La persona investigadora me ha advertido de las posibles molestias, riesgos y consecuencias derivadas de la inclusión en este trabajo.

El instituto australiano del deporte incorpora estos suplementos deportivos en el grupo A de eficacia, además de que son de las ayudas más estudiadas por separado sin que se haya mostrado ningún problema para la salud del deportista.

Los datos personales que nos ha facilitado para este proyecto de investigación serán tratados con absoluta confidencialidad de acuerdo con la Ley de Protección de Datos. Se incluirán en el fichero de la ULE y sólo se utilizarán para los fines del proyecto. Es posible ceder datos del proyecto a grupos colaboradores, pero en ningún caso figurarán datos que lo pudieran identificar.

Dado que entiendo todo lo anterior, **CONSIENTO** que se me incluya en el citado estudio de investigación.

Firma del participante en el estudio, firma del/a investigador/a

En Logroño a..... de..... de

En caso de necesitar más información o tener alguna duda póngase en contacto con:

D. Jose Burgos Balmaseda, 630693954 joseburgos88@hotmail.com



7.7. APÉNDICE 7. COMUNICACIONES CIENTÍFICAS PRESENTADAS DURANTE EL PROCESO DE TESIS



CERTIFICADO DE COMUNICACIÓN MENCIÓN ESPECIAL

Valencia, 12 de abril de 2022

D. José Burgos

Ha presentado el Trabajo de Investigación con el Título:
“Efecto combinado a largo plazo de la suplementación con citrulina y extracto de remolacha rico en nitratos sobre el estado de recuperación en triatletas masculinos entrenados: Un ensayo aleatorio, doble ciego y controlado con placebo”
realizado en colaboración con los autores:

“Aitor Viribay, Julio Calleja Gonzalez, Diego Fernández Lázaro, Jurgi Olasagasti Ibargoien, Jesús Seco Calvo y Juan Mielgo Ayuso”

Dicho trabajo ha obtenido la consideración de MENCIÓN ESPECIAL por su relevancia en el 8º Congreso Internacional de Readaptación y Prevención de Lesiones en la Actividad Física y el Deporte y 6º Congreso Internacional de Salud y Ejercicio Físico, celebrado en la modalidad on-line durante los días 1 al 10 de abril de 2022. Para que conste a los efectos oportunos y a petición de la persona interesada, se firma el presente certificado.

D. Juan Ángel Mañas Martínez
Presidente del Congreso

Dr. Julio María Calleja González
Presidente del Comité Científico



COI-ABR22-0101



NSCA SPAIN CONCEDE 2.0 CEU

Alto Rendimiento Salud y Ejercicio Físico

c8º
+ 6º **Salud y Ejercicio Físico**
internacional
READAPTACION Y PREVENCIÓN de LESIONES en la actividad física y el deporte

CERTIFICADO DE COMUNICACIÓN

Valencia, 12 de abril de 2022

D. José Burgos

Ha presentado el Trabajo de Investigación con el Título:
“Combined Effects of Citrulline Plus Nitrate-Rich Beetroot Extract Co-Supplementation on Maximal and Endurance-Strength and Aerobic Power in Trained Male Triathletes: A Randomized Double-Blind, Placebo-Controlled Trial”

realizado en colaboración con los autores:

“Aitor Viribay, Diego Fernández Lázaro, Julio Calleja González, Josefa González Santos y Juan Mielgo Ayuso”

en el 8º Congreso Internacional de Readaptación y Prevención de Lesiones en la Actividad Física y el Deporte y 6º Congreso Internacional de Salud y Ejercicio Físico, celebrado en la modalidad on-line durante los días 1 al 10 de abril de 2022.

Para que conste a los efectos oportunos y a petición de la persona interesada, se firma el presente certificado.

D. Juan Ángel Mañas Martínez
Presidente del Congreso

Dr. Julio María Calleja González
Presidente del Comité Científico

7.8. APÉNDICE 8. ESTANCIAS DURANTE EL PROCESO DE TESIS



**UNIVERSIDAD
DE BURGOS**

Departamento de Ciencias de la Salud

JUAN FRANCISCO MIELGO AYUSO con DNI 44134162Z, Profesor Ayudante Doctor de la Facultad de Ciencias de la Salud, área de Fisiología, de la Universidad de Burgos e investigador principal del proyecto de investigación “Análisis y valoración de los determinantes fisiológicos y nutricionales en el rendimiento deportivo de futbolistas”

CERTIFICA:

Que el Dr. José Burgos Balmaseda, NIF 16604731L, ha realizado una estancia en nuestro laboratorio. El periodo corresponde a 3 meses (desde el 11 de enero hasta el 10 de abril de 2021).

Y para que conste y surta los efectos oportunos, firmo el presente documento.

**MIELGO
AYUSO JUAN
F - 44134162Z**

Digitally signed by MIELGO
AYUSO JUAN F - 44134162Z
DN: c=ES,
serialNumber=IDCES-44134162Z,
givenName=JUAN F, sn=MIELGO
AYUSO, cn=MIELGO AYUSO JUAN
F - 44134162Z
Date: 2021.09.21 09:21:56 +02'00'

7.9. APÉNDICE 9. OTRAS PUBLICACIONES DURANTE EL PROCESO DE TESIS

Endocrinología, Diabetes y Nutrición 69 (2022) 131–143



Endocrinología, Diabetes y Nutrición

www.elsevier.es/endo



REVISIÓN

Trastornos de conducta alimentaria en la práctica deportiva. Actualización y propuesta de abordaje integral



Amelia Marí-Sanchis^{a,b,*}, José Burgos-Balmaseda^c y Rebeca Hidalgo-Borrajo^d

^a Servicio de Endocrinología y Nutrición, Unidad de Nutrición Clínica y Dietética, Complejo Hospitalario de Navarra (CHN), Navarra, España

^b Instituto de Investigación Sanitaria de Navarra (IdisNa), Navarra, España

^c Burgosnutrition, Fisiología, Nutrición y Deporte, La Rioja, España

^d Centro de Salud Mental Infanto-Juvenil «Natividad Zubieta», Navarra, España

Recibido el 28 de diciembre de 2020; aceptado el 24 de abril de 2021

Disponible en Internet el 18 de junio de 2021

PALABRAS CLAVE

Trastornos de conducta alimentaria;
Práctica deportiva;
Entrenamiento;
Educación nutricional

KEYWORDS

Eating disorders;
Sport practice;
Training;
Nutrition education

Resumen Los Trastornos de Conducta Alimentaria (TCA) son un conjunto de enfermedades con gran impacto sobre la salud y el rendimiento de los deportistas. Estas enfermedades tienen una etiología multifactorial con influencia de factores genéticos y ambientales, y donde también están implicados factores psicológicos y aquellos específicos de la práctica deportiva. Son patologías que tienen una gran prevalencia en el entorno deportivo, principalmente en actividades de resistencia, aquellas que establecen un control de peso por categorías o en los deportes donde el bajo peso supone una ventaja competitiva y la estética es importante. Los deportistas con TCA deberían de ser evaluados y recibir un tratamiento integral precoz. Es indispensable el seguimiento estrecho del estado nutricional sobre todo en el caso de las deportistas femeninas. La prevención cobra un papel esencial e insustituible en estas patologías y constituye un auténtico desafío para todos los profesionales que atienden al deportista. Establecer programas estructurados de formación nutricional para el deportista y su entorno sería una prioridad para prevenir estas patologías.

© 2021 SEEN y SED. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Eating disorders in sport. Update and proposal for an integrated approach

Abstract Eating disorders are a group of conditions which have a huge impact on the health and performance of athletes. The aetiology of eating disorders is multifactorial, being influenced by genetic and environmental factors, but also involving psychological factors and factors specific to the practising of sport. Eating disorders are highly prevalent in sport, particularly in

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: amarisanchis@gmail.com (A. Marí-Sanchis).

<https://doi.org/10.1016/j.endinu.2021.04.004>

2530-0164/© 2021 SEEN y SED. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

disciplines involving endurance, those that have weight-categories or those where low weight is a competitive advantage and aesthetics are important. Athletes with eating disorders need to be assessed and receive early, comprehensive treatment. Close monitoring of nutritional status is vital, especially with female athletes. Prevention is crucial and plays an invaluable role in this type of disorder, but represents a significant challenge for all professionals who look after athletes. Priority needs to be given to implementing structured nutrition training programmes for the athlete and their entourage to help prevent eating disorders.

© 2021 SEEN y SED. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

La práctica deportiva aporta un sinnúmero de beneficios, no solo físicos (metabólicos y cardiovasculares principalmente) sino también psicológicos y sociales; pero a su vez, entraña problemas asociados a su práctica. Los deportistas en general y, de manera especial, en las categorías femeninas, pueden desarrollar trastornos de conducta alimentaria (TCA) que, una vez manifestados, afectan al bienestar, salud y rendimiento del deportista.

Los TCA se caracterizan por una alteración persistente relacionada con el hecho de alimentarse que impacta negativamente sobre la salud y las capacidades psicosociales de aquellos que las padecen¹. Estas patologías se caracterizan por una preocupación excesiva por la comida, el peso corporal y la figura. Su diagnóstico se realiza con criterios bien definidos² tipificados en el *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (DSM-V) o en la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10)³. Se incluyen dentro de estas patologías psiquiátricas la anorexia nerviosa (AN), la bulimia nerviosa (BN), los trastornos por atracón y otras entidades de menor prevalencia. Su incidencia es más frecuente en mujeres (90%) aunque también pueden presentarse en varones⁴.

Estas enfermedades, que fueron descritas ya inicialmente por Richard Morton⁵ en el siglo XVII-XVIII (primera aproximación médica al trastorno) y posteriormente por William Withey Gull (médico inglés que acuñó el término de anorexia nerviosa) siguen siendo muy actuales en nuestra sociedad donde la apariencia física es símbolo de éxito. Mientras la prevalencia de estos trastornos en la población general se encuentra en torno al 1% para la AN, 3 a 5% para la BN y un 13% para todos los TCA de forma global¹, en el mundo deportivo, estas cifras se disparan. Esto ha llevado a que en las dos últimas décadas se hayan incrementado de forma significativa las publicaciones científicas sobre TCA en la práctica deportiva.

El objetivo de este trabajo ha sido revisar el estado actual de los TCA en los deportistas y actualizar el abordaje integral de los mismos.

Situación actual

Los TCA son una alteración grave que afecta a la morbilidad, calidad de vida y mortalidad de aquellas personas que la padecen, constituyéndose como un verdadero problema de

salud pública. Se sabe que los TCA son una causa importante de mortalidad⁶ principalmente por causas cardíacas⁷ y por suicidio⁸.

Pero, cuando estos se presentan en el desarrollo de la práctica deportiva, se consideran un problema importante no solo por la mayor **prevalencia** en este ámbito en comparación con la población general, especialmente en determinadas disciplinas, sino también por las **consecuencias** que generan en la salud⁹ y rendimiento del deportista.

a) Magnitud

No disponemos de datos epidemiológicos exactos sobre cuál es la prevalencia real de estas patologías en los deportistas ya que, en muchas ocasiones, los propios individuos tratan de ocultarlas. Esto hace que las cifras que se manejen estén probablemente infravalorando la verdadera magnitud del problema.

Los datos de prevalencia pueden variar según los países donde se realizan los estudios o las disciplinas que se consideran, pero todos ellos reflejan una prevalencia mayor que en la población general¹⁰. De forma global, la prevalencia de trastornos y desórdenes alimentarios varía entre 0 a 19% en deportistas masculinos y 6 a 45% en atletas femeninas¹¹. En un estudio efectuado en deportistas noruegos de élite, alrededor del 42% de las mujeres que participan en actividades donde la estética corporal es importante y el 24% de las deportistas de resistencia muestran síntomas propios de un trastorno alimentario¹⁰. En un ensayo norteamericano realizado en adolescentes deportistas la prevalencia de estas patologías fue del 35,4%¹². En otro estudio noruego efectuado en el mismo grupo poblacional se constata una mayor incidencia de trastornos alimentarios (7%) en comparación con un grupo control (2,3%)¹³.

En consonancia con estos datos de prevalencia de TCA en el ámbito deportivo a nivel mundial, en nuestro país su prevalencia también refleja mayores cifras con respecto a la población general. La Federación Española de Medicina del Deporte estima cifras en torno al 4,2 y al 39,2%¹⁴.

b) Trascendencia

La trascendencia de los TCA se debe a las complicaciones médicas que se asocian a esta patología. Estas se relacionan

de forma directa con la severidad de la pérdida de peso y con la duración de los TCA.

Las complicaciones médicas pueden afectar prácticamente a todos los órganos y sistemas. Destacan las i) orofaciales, como halitosis o la pérdida de piezas dentarias, ii) digestivas: como esofagitis, retraso en el vaciado gástrico y estreñimiento, iii) metabólicas como hipoglucemia, hiperuricemia, hipercolesterolemia o alteraciones hidroelectrolíticas, iv) alteraciones endocrinológicas como hipogonadismo, amenorrea y osteoporosis, v) hematológicas como anemia o pancitopenia y alteración en la inmunidad, vi) musculares como debilidad y calambres musculares o vii) cardiovasculares como hipotensión ortostática, palpitaciones o arritmias, entre otras. La [tabla 1](#) recoge de forma más detallada los síntomas y signos clínicos que puede presentar un atleta con TCA

Nos centraremos brevemente en las principales alteraciones endocrino-metabólicas que pueden desarrollarse en las y los deportistas con TCA.

Alteraciones menstruales

La amenorrea o las alteraciones menstruales es un síntoma que deberá ser siempre investigado en todas las atletas. Desde hace décadas, se sabe que las mujeres que están expuestas a una gran carga de entrenamiento físico persistente asociado a una nutrición deficiente tienen más riesgo de presentar alteraciones en la esfera reproductiva, en concreto oligomenorrea, amenorrea primaria (ausencia de menstruación >15 años) o secundaria (no menstruación durante tres meses consecutivos)¹⁵. La baja disponibilidad energética (BDE) mantenida es lo que condiciona una alteración en la pulsatilidad hipotalámica de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) lo que provoca una disminución de la liberación de hormona foliculoestimulante (FSH) y luteinizante (LH) hipofisarias con el consiguiente descenso de estradiol y progesterona, lo que se conoce como amenorrea funcional hipotalámica. Esta BDE tiene lugar cuando la energía ingerida es insuficiente para mantener las funciones fisiológicas del organismo y las propias del entrenamiento físico, lo cual sucede cuando la ingesta calórica es inferior a < 30 kcal/kg/día de masa libre de grasa en mujeres y por debajo de 20 a 25 kcal/kg/día en varones¹⁶. Sin embargo, se desconoce cuál debe ser la duración y severidad de esta BDE para producir estas alteraciones hormonales¹⁷.

Disminución de la masa ósea

La baja ingesta también afecta directamente a la salud ósea principalmente de las atletas femeninas. En las atletas, la baja densidad mineral ósea (DMO) se define como una puntuación Z score entre -1,0 y -2,0 desviaciones estándar asociada a una baja ingesta, hipoestrogenismo o fractura de estrés y osteoporosis cuando la Z score se encuentra por debajo de -2¹⁸. Esta BDE junto con la disminución de los estrógenos secundarios a la amenorrea son las responsables de la fragilidad ósea que presentan las deportistas con TCA, que añadido a la deficiencia de calcio y de vitamina D incrementa el riesgo de fracturas por estrés¹⁹. Un factor importante que influye en la DMO de las mujeres deportistas es la edad de inicio del entrenamiento. Así, el efecto negativo en el hueso es mayor cuanto antes es el inicio del entrenamiento vigoroso²⁰. Las fracturas de estrés

pueden afectar a distintas localizaciones como el cuello del fémur, rótula, maléolo medial, astrágalo, escafoides y sesamoideos, entre otros, e impactan a las mujeres atletas que practican cualquier disciplina, pero sobre todo a aquellas que potencian la delgadez²¹.

La presencia en las deportistas femeninas de alteraciones en la función menstrual, en la masa ósea y la BDE es lo que típicamente se conoce como la triada de la mujer atleta²². Es la BDE el principal factor etiopatogénico que genera esos efectos negativos en la salud ósea y reproductiva^{22,23}. Multitud de estudios realizados en mujeres reflejan este déficit energético en sus ingestas habituales²³. Las actividades deportivas de mayor riesgo para el desarrollo de esta triada femenina son todas aquellas que enfatizan la delgadez, la estética y los deportes de resistencia, si bien esta triada se encuentra presente en todas las disciplinas y en todos los niveles de competición²⁴. La piedra angular de su tratamiento es mejorar y restablecer el equilibrio energético²⁵.

Hipogonadismo

En varones que practican ejercicios de resistencia de forma intensa y mantenida como los maratonianos, ciclistas, *runners* o los que practican triatlón se han detectado alteraciones en la esfera hormonal reproductiva^{26,27}. Estas incluyen una disminución de los valores de testosterona libre asociados a una alteración en los valores de prolactina (PRL) y de LH, así como alteraciones en la pulsatilidad de esta última. Esta situación, que tiene baja prevalencia entre los deportistas, es conocida como «hipogonadismo masculino producto del ejercicio» y fue descrita por Hackney²⁸. El mecanismo fisiológico de esta reducción hormonal no está claro, pero parece que es secundario a una disfunción dentro del eje regulador hipotalámico-hipofisario-gonadal²⁹. Este descenso en los niveles de testosterona condiciona una alteración en los procesos androgénicos dependientes de esta hormona. Así, en algunos casos se detecta una disminución de la espermatogénesis³⁰, descenso de la libido y afectación de la fertilidad³¹. Por ello, los médicos endocrinólogos o los especialistas en fertilidad deberán estar atentos a este problema que pueden presentar los deportistas varones.

Otras alteraciones endocrinológicas asociadas

La BDE es responsable de otras alteraciones hormonales además de las previamente comentadas con respecto a la afectación del eje hipotálamo-hipofiso-gonadal. En atletas femeninas se han detectado alteraciones en la función tiroidea (inhibición de la liberación de hormona tiroidea), modificación de los niveles de hormonas que regulan el apetito (disminución de la leptina y oxitocina y un aumento de ghrelina, péptido YY y adiponectina), resistencia a la hormona del crecimiento (GH) o hipercortisolismo relativo^{32,33}. Es probable que muchas de estas alteraciones hormonales se produzcan para salvaguardar funciones corporales vitales³⁴.

Déficits nutricionales

Se pueden detectar además déficits de micro y macronutrientes secundarios a la ingesta inadecuada³⁵ y al estrés inducido por la actividad física. Entre las atletas femeninas existe un interés destacado por algunos micronutrientes como son el calcio, la vitamina D, zinc, magnesio o las

Tabla 1 Síntomas, signos y alteraciones analíticas de los pacientes deportistas con TCA

	Síntomas	Signos	Alteraciones analíticas
Síntomas generales	Pérdida de peso Astenia, fatiga	Hipotermia Intolerancia al frío Dificultad para ganar el peso esperado en adolescentes en crecimiento	
Orofacial/dental	Halitosis Sangrado oral Odinofagia	Erosión dental, caries o pérdida de piezas dentarias Encías sensibles Aumento del tamaño de la parótida	Hiperamilasemia salivar
Gastrointestinal	Disfagia/odinofagia Quemazón retroesternal RGE. Esofagitis Alteración en motilidad esofágica, gástrica, y tránsito intestinal retardados	Hematemesis Hemorroides Fisura rectal Prolapso rectal	Alteración de perfil de enzimas hepáticas
Metabólicas	Estreñimiento/diarrea Mareo, falta de fuerzas		Alteraciones del metabolismo de la glucosa (hipoglucemia) hiperuricemia, hipercolesterolemia Déficits de micronutrientes
Endocrinológicas	Amenorrea y alteraciones menstruales Sequedad vaginal Dispareunia Disminución de la libido Infertilidad SOP (en BN)	Hipogonadismo	Déficit de testosterona Hipoestrogenismo Disminución LH, FSH Disminución T3 y aumento T3 reversa Aumento cortisol y GH
Musculoesqueléticas	Debilidad calambres musculares y miopatía	Rabdomiolisis (si abuso de laxantes y diuréticos) Orina oscura	Hipopotasemia y datos de deshidratación Elevación de CPK
Cardiovasculares	Mareo, síncope palpitaciones, dolor torácico	Fracturas de estrés Disminución de DMO Edema Bradycardia Arritmias (Torsade de pointes si abuso de laxantes) Prolongación del intervalo QT Hipotensión ortostática Dificultad para respirar	Si hipopotasemia
Hematológicas	Alteraciones en la inmunidad		Anemia o pancitopenia
Dermatológicas	Pérdida de pelo	Piel seca Lanugo Signo de Russel (callosidades en nudillos) Hiper胡萝卜素emia Mala cicatrización de las heridas	

Tabla 1 (continuación)

	Síntomas	Signos	Alteraciones analíticas
Neuropsiquiatría	Pérdida de memoria o concentración Depresión o ansiedad o Insomnio	Convulsiones	
Genitourinarias	Alteraciones hidroelectrolíticas Calambres	Nefrocalcinosis (si abuso de diuréticos ej. furosemida)	Hipopotasemia (vómitos) Alteración en anormales y sedimento Aumento de creatinina (si abuso de laxantes) Pérdida de cloro y potasio por diuréticos

BN: bulimia nerviosa; CPK: creatina-fosfocinasa; DMO: baja densidad mineral ósea; GH: hormona del crecimiento; FSH: hormona folículoestimulante; LH: hormona luteinizante; RGE: reflujo gastroesofágico; SOP: síndrome de ovario poliquístico; TCA: trastornos de la conducta alimentaria.

vitaminas del grupo B³⁶. Especialmente destacable es el caso del calcio y la vitamina D, dado que se ha visto, entre este grupo, datos de insuficiencia de vitamina D del 33 al 42% y unas ingestas inadecuadas de calcio en el 72 al 90%³⁶. Con respecto a los macronutrientes, se han detectado alteraciones en el metabolismo de la glucosa.

Una entidad común para deportistas masculinos y femeninos y que engloba las consecuencias fisiológicas de la BDE es la deficiencia energética relativa en el deporte (RED-S) definida por el Comité Olímpico Internacional¹⁷. Esta se caracteriza por una baja ingesta energética para mantener unas óptimas funciones corporales que proporcionen salud y un correcto rendimiento deportivo. Este síndrome, que incluye a la triada de la atleta femenina, engloba alteraciones en la tasa metabólica, en la función menstrual, inmunitaria, en la salud ósea, cardiovascular y en la síntesis proteica¹⁷.

Por todo lo anteriormente expuesto, el rendimiento deportivo de los atletas con TCA se encuentra comprometido³⁷. La BDE conduce a la pérdida de masa grasa y magra, disminución de los depósitos de glucógeno, déficits de micronutrientes³⁸ y si existen purgas, alteraciones hidroelectrolíticas y disminución de los líquidos corporales. Además, los deportistas presentan disminución de la concentración, de la coordinación, irritabilidad, depresión y aumento del riesgo de lesiones¹⁷. Todo ello afecta negativamente a la potencia muscular, resistencia y consecuentemente al rendimiento³⁹.

Estas consecuencias negativas para la salud que estas patologías pueden entrañar justifican un seguimiento estrecho del estado nutricional de los deportistas y la adecuada identificación de todos aquellos que se encuentran en riesgo de presentar alteraciones del comportamiento alimentario o que ya presenten síntomas clínicos de un TCA manifiesto.

Deportes de riesgo de TCA

Según lo expuesto anteriormente, los distintos estudios muestran que los atletas tienen más riesgo de presentar TCA o alteraciones del comportamiento alimentario comparados con los no deportistas en todos los grupos de edad y en ambos

sexos⁴⁰. Pero, además, según la actividad que se practique el riesgo es diferente. Los deportes en los que existe una mayor prevalencia para la aparición de TCA son aquellas actividades en las que existe una presión para perder y/o mantener el peso⁴¹. Estos se pueden dividir en cuatro grupos de donde es más frecuente la aparición de estos trastornos¹⁰:

- Deportes donde el bajo peso supone una ventaja competitiva y además donde la estética es importante: gimnasia artística, patinaje artístico o ballet clásico. En modalidades como la natación sincronizada o el patinaje artístico un bajo peso resulta beneficioso, ya que la figura de los deportistas es muy tenida en cuenta por los jueces.
- Deportes donde el bajo peso mejora el rendimiento deportivo: piragüistas o remeros. Recientemente, en un estudio del 2019, se concluyó que el waterpolo, deporte que enfatiza la delgadez y el control del peso corporal, se asocia con una mayor tendencia a desarrollar TCA, en comparación con otros deportes de equipo⁴².
- Deportes de resistencia. En ellos los atletas se benefician de un peso bajo en el rendimiento (por ejemplo: maratón, natación, ciclismo, etc.)
- Deportes en los que los sujetos son clasificados en categorías de peso (por ejemplo: boxeo, halterofilia, taekwondo, powerlifting, etc.). En estas disciplinas es necesario mantenerse en unos rangos de peso para la competición.

Otros factores de riesgo para el desarrollo TCA en la práctica deportiva

Es bien conocida que la etiología de los TCA es biopsicosocial, interviniendo factores biológicos, genéticos, psicológicos, familiares y socioculturales. El énfasis y valor que nuestra sociedad otorga a los cuerpos delgados, especialmente en las mujeres, contribuye probablemente al desarrollo y prevalencia de estos trastornos, actuando como factores precipitantes y mantenedores de estos. La delgadez se ha convertido en metáfora del éxito y el exceso de peso del fracaso; de este modo, la extrema delgadez y la belleza se han postulado como sinónimo de triunfo en esta sociedad competitiva.

Además del tipo de deporte que se practique, existen factores de riesgo específicos de la práctica que incrementan el riesgo de presentar un TCA. Entre ellos destacan: la edad de inicio de los entrenamientos, la regulación intrínseca de cada deporte sobre todo en aquellos que enfatizan un control de peso estricto, la influencia del entorno deportivo, la presión por perder peso y las lesiones entre otros¹¹.

La identificación de los factores de riesgo que hacen a los atletas más vulnerables, es decir, aquellas condiciones o factores desencadenantes de la conducta patológica; es un punto clave^{43,44}. En este sentido, y añadidos a los factores propios de los TCA en general, recientemente se vienen identificando⁴⁵ factores de riesgo específicos en deportistas que deberían ser tenidos en cuenta en este sector poblacional. Entre ellos, destacaría la aceptación de la normativa propia de cada disciplina; la actitud de los entrenadores; la presión por alcanzar unos logros concretos a nivel de rendimiento; la valoración estrecha de estatus ponderal y de composición corporal; la exposición pública de resultados y de «marcas» en entornos de entrenamiento y la presión mediática y social (percibida o real) por ser de una manera determinada. Estos factores pueden condicionar específicamente a los deportistas vulnerables al padecimiento de TCA.

Otro factor a tener en cuenta es el seguimiento de un régimen dietético severo durante largos periodos de tiempo, que es una característica predominante de los deportistas a niveles amateur y en competición, factor fundamental para precipitar la aparición de un TCA, como ya demostró el clásico estudio sobre los efectos del hambre en el organismo de Keys et al. publicado en 1950⁴⁶.

En ocasiones, el deportista predispuesto a este tipo de patologías puede elegir (consciente, o inconscientemente) un tipo concreto de actividad que «sirva» para mantenerlo y así las marcas deportivas y los retos (deseables, por la propia práctica), se convierten en vehículo que mantiene el trastorno⁴⁷.

Otro papel fundamental como hemos mencionado lo desempeñaría el entrenador como referente para sus deportistas, pudiendo ejercer una presión directa sobre sus hábitos dietéticos y su peso corporal, relacionando peso y desempeño. Y también por vía indirecta, es decir, manteniendo dietas sin supervisión, como fue demostrado en un número significativo de atletas españolas en el estudio de Toro et al., de 2005⁴⁸, en el que se añadían los deseos de las propias deportistas por agradar a su entrenador en cuanto a gustos y patrones alimentarios. Y en el estudio de Brooks et al.⁴⁹ en el que se demostró que las dietas propuestas por los entrenadores no suelen cumplir los requerimientos nutricionales propios de la modalidad practicada.

Los entrenadores deberían motivar al deportista a mantener un peso estable dentro de los patrones exigidos en su disciplina, priorizando la salud versus su rendimiento; Podría llegarse incluso a recomendar elegir un deporte más acorde con su tipología corporal o incluso replantear el que practican, en caso de que esté condicionando su proceso de recuperación, tal como sugiere Baum⁴⁷.

Por último, hay que destacar el papel clave de la familia en el TCA en general; ha sido descrito cierto subtipo de familia con hijos deportistas⁵⁰, que podrían predisponer a una mayor probabilidad de desarrollo de un TCA. Alguno de estos factores incluiría la escasa comunicación, incapacidad para

la resolución de conflictos, sobreprotección paterna, rigidez y falta de flexibilidad para encarar situaciones novedosas, ausencia de límites generacionales, expectativas demasadas altas de los padres en relación con sus hijos e historia de antecedentes de salud mental. Por otra parte, se deberían considerar dos factores fundamentales mencionados por Alonso⁵⁰ en este tipo de familias: el primero, el hecho de que los padres/familias suelen aceptar de buen grado las medidas adoptadas para regular el peso como una parte más de los requisitos de su entrenamiento y segundo, el rol fundamental que desempeñan a la hora de solicitar ayuda especializada dada la falta de conciencia de enfermedad del deportista afectado.

Abordaje integral de los deportistas con TCA

El abordaje integral de los deportistas con TCA que se propone, a la luz de la literatura disponible, se podría concretar en los siguientes puntos:

1. Difundir el empleo de herramientas de *screening* que nos permitan un diagnóstico precoz de estas alteraciones. Se podría considerar la herramienta *Eating Attitudes Test* en su versión abreviada EAT-26 para realizar un *screening* precoz de estas alteraciones del comportamiento alimentario en esta población de riesgo. El EAT test de actitudes hacia la comida evalúa el miedo a ganar peso, así como patrones restrictivos de ingestas. En este sentido, se podría valorar la herramienta *Brief Eating disorders in Athletes questionnaire*⁵¹ (BEDA-Q) y el cuestionario *Exercise Orientation Questionnaire* (EOQ), este último está específicamente diseñado para la identificación de deportistas en riesgo⁵², centrándose en actitudes y comportamientos y permitiendo identificar este tipo de población. También se podría considerar el *Eating Disorder Examination Questionnaire 6.0* (EDE-Q 6.0) en la valoración de los deportistas⁴⁵. Todos estos cuestionarios tienen algunas limitaciones, sobre todo para atletas masculinos, son auto-referidos, por lo que la información que aportan debería ser contrastada⁵³.

Diversas organizaciones profesionales médicas americanas han desarrollado un monográfico llamado *Preparticipation Physical Examination* (PPE) que incluye una batería de preguntas dirigidas a la identificación de estos trastornos en los deportistas⁵⁴. Además, agrega diversas preguntas sobre las consecuencias negativas de estos trastornos como las alteraciones menstruales en las mujeres o las fracturas de estrés. En el Anexo 1 se recoge esta PPE abreviada en su versión en español.

Para las deportistas femeninas, se les podría pasar un cuestionario más detallado de 11 preguntas para identificar aquellas que pudieran presentar la triada de la deportista femenina²².

2. El empleo de estas herramientas de *screening* ayudará a **identificar y detectar precozmente** estos trastornos en los deportistas, especialmente importante ya que esto se asocia con mejores resultados en el tratamiento¹² y una mejor evolución. Esto implica que todos los profesionales que se encuentran alrededor del atleta deberán tener



Figura 1 Tratamiento multidisciplinar y función del equipo que atiende a un deportista con TCA. Modificado de Joy E et al.⁴⁰

- una formación exquisita sobre estos trastornos, conocer cuáles son los signos y síntomas que pueden presentar, así como las consecuencias para la salud del deportista.
- Una vez diagnosticado, el siguiente paso sería definir **dónde** se realizará el tratamiento específico. Según el estado nutricional del paciente, el ámbito asistencial puede ser distinto. Se aconseja que el tratamiento sea ambulatorio por regla general. Habría que considerar el ingreso hospitalario en las circunstancias de riesgo vital importante, desnutrición extrema⁵⁵ o situaciones de bradicardia severa, hipotensión marcada o alteraciones hidroelectrolíticas severas^{22,40}
 - Los deportistas con TCA deberán someterse a una evaluación y tratamiento exhaustivo por un **equipo multidisciplinar experimentado** una vez el diagnóstico se haya establecido. Este equipo interdisciplinar debería estar constituido por un médico general o especialista en medicina del deporte, un médico especialista en Endocrinología y Nutrición (como experto en el manejo de los pacientes con TCA), un dietista/nutricionista, un equipo de salud mental: psiquiatra /psicólogo, los preparadores físicos y los propios entrenadores. El rol del entrenador es importante para que motive al deportista a mantener un peso estable dentro de los patrones exigidos en su disciplina, haciendo mayor énfasis en la condición subyacente de salud por encima de su rendimiento⁵⁶. El papel de los padres también sería relevante en el caso de los adolescentes^{57,58}. A continuación, se expone la **figura 1** que puede ilustrar esta aproximación terapéutica y que recoge el papel de los principales miembros que atienden al atleta con TCA. Interesa remarcar que toda la estrategia está **centrada** en el deportista.

El tratamiento de esta entidad es complejo, requiere la labor conjunta de todo el equipo interdisciplinar y de forma precoz para evitar la cronificación.

Este equipo deberá establecer cuáles son los objetivos terapéuticos en cada caso individual. Desde el punto de vista nutricional, interesa una intervención nutricional **precoz** que persiga revertir la situación para normalizar el patrón de alimentación. Otros objetivos que se deberían plantear incluyen:

- Marcar objetivos asumibles a corto, medio y largo plazo.
- Establecer un contenido energético mínimo y definir la composición de la dieta adecuada y saludable.
- Corregir las conductas alimentarias erróneas.

Los objetivos del equipo salud mental-psiquiatría valorarán cuál es el tipo de intervención psicoterapéutica más idónea para corregir las alteraciones psicológicas y conductuales del deportista:

- Desde el inicio se abordará la conciencia de enfermedad y la capacidad introspectiva del paciente, motivándolo al cambio; intentando reestablecer un patrón alimentario regular, mediante el empleo de técnicas cognitivas y conductuales, así como un abordaje de las distorsiones cognitivas propias del trastorno respecto a figura, peso y alimentación; y también las características basales de personalidad como la baja autoestima y la tendencia al perfeccionismo.
- Proporcionarles apoyo emocional y psicológico para ayudarles a manejar el estrés que supone la reducción y/o el mantenimiento del peso.
- Atender las graves alteraciones de la imagen corporal que refieren los pacientes que se manifiestan en la insatisfacción/distorsión corporal e impactan negativamente en el trastorno alimentario.
- Reorganización de la dinámica familiar, social, deportiva (entrenadores, compañeros de equipo, etc.) es

igualmente importante para conseguir los objetivos anteriormente descritos.

- Además, otra de las características clave es que el seguimiento se realice de forma regular, incluyendo una evaluación psicológica y nutricional⁵⁹.
5. La **educación nutricional** es clave en el manejo de los deportistas con TCA⁶⁰. Es fundamental transmitir un consejo dietético individualizado y además proporcionar información para que el atleta adopte un cambio en su patrón alimentario que se mantenga a largo plazo. Por eso, se deberían implementar sesiones grupales sobre distintos aspectos de la nutrición deportiva pero también personalizadas, centradas en el paciente para tratar las creencias irracionales sobre los alimentos que tiene el deportista. Ofertar sesiones formativas a los entrenadores y los padres podría ser interesante. Se sabe que un entrenador puede aumentar o disminuir el riesgo de desarrollar esta patología⁶¹.

La importancia del dietista/nutricionista (certificados en nutrición deportiva) en el asesoramiento nutricional es fundamental⁶²⁻⁶⁴. Su papel es clave en la elaboración del plan de intervención individual y en la confección de la dieta personalizada para el deportista con TCA⁶⁵. Además colaboraría en el desarrollo de programas informativos y educativos dietéticos, tanto preventivos como terapéuticos, cuando el TCA está establecido. Interesaría realizar entrevistas estructuradas con cierta periodicidad para detectar patrones de ingestas reducidos, así como alteraciones del comportamiento alimentario de disminución de la ingesta y también otros aspectos como la preocupación constante por las comidas, tiempo excesivo en la ingesta o la modificación de la forma de comer del deportista. Asimismo, es importante conocer los hábitos de alimentación del atleta y cómo van evolucionado en el tiempo. Este tratamiento nutricional tendría dos fases: en un primer momento, la fase educativa: donde se elabora un plan para transmitir conocimientos sobre nutrición y dietética al deportista y en un segundo tiempo, se pondría en práctica ese plan educativo previamente confeccionado, tratando de modificar la conducta alimentaria^{63,66}.

6. La valoración clínica, antropométrica y analítica de los deportistas con TCA es un punto clave en su evaluación inicial y en su seguimiento.

Desde el punto de vista antropométrico, la medida más universal empleada para determinar el bajo peso corporal es el índice de masa corporal (IMC) (peso kg/altura m²), si bien los puntos de corte absolutos del IMC no deben usarse para adolescentes, en ellos es preferible el uso del peso corporal esperado^{17,40}.

En cuanto a las técnicas de composición corporal como la bioimpedanciometría o el Bod Pod[®] podrán aportar información en la evaluación de estos pacientes. Sin embargo, según el último posicionamiento de la Academia Americana y Canadiense de Dietistas y el del Colegio Americano de Medicina Deportiva indican que no deben usarse para calcular un objetivo específico de porcentaje de grasa corporal para los deportistas individuales y tampoco deben utilizarse para seleccionar a los atletas para los distintos equipos^{38,67}.

La valoración analítica debería incluir, entre otros parámetros, una bioquímica general que incluyera hemograma completo, perfil lipídico, ionograma, función renal, hepática y tiroidea (TSH). La determinación adicional de los niveles de vitamina B12, calcio y vitamina D, zinc, ferrocínica, magnesio³⁸ y fósforo sería también relevante en aquellos casos de desnutrición o de ingestas nutricionales deficientes. En caso de amenorrea, interesaría la determinación de FSH, LH, PRL, estradiol, perfil androgénico, TSH y test de embarazo. La realización de una densitometría se indicaría en aquellos casos de mujeres con amenorrea de más de seis meses de duración u oligomenorrea (menos de seis menstruaciones en dos años). En aquellos atletas en riesgo de baja DMO o que estén recibiendo tratamiento específico, se aconseja repetir la DMO al año en el caso de los adultos y un mínimo de seis meses en adolescentes⁶⁸. La realización de un electrocardiograma (ECG) estaría indicada en aquellos deportistas con sintomatología de mareos, palpitaciones, síncope o bradicardia sinusal (< 50 lpm en reposo)⁴⁰. La [figura 2](#) recoge las determinaciones analíticas y pruebas a realizar en el deportista con TCA. Además, habrá que reevaluar el cumplimiento del plan dietético propuesto, la evolución ponderal y de los parámetros analíticos, la ciclicidad menstrual y la salud ósea durante todo el seguimiento.

7. El tratamiento médico de las complicaciones físicas que pueden experimentar estos deportistas es otro punto para considerar.

Si las atletas con TCA presentan **amenorrea**, el tratamiento inicial incluirá el incremento de la ingesta calórica total y la disminución o cese de la práctica del ejercicio físico²⁴, ya que si este se mantiene excesivo la amenorrea puede cronificarse. Este incremento de la ingesta calórica deberá ser mayor en adolescentes. Se recomienda una ingesta adecuada de hidratos de carbono y de proteínas para restaurar los depósitos de glucógeno hepático y así facilitar la pulsatilidad de la LH^{69,70}. La recuperación ponderal cuando se alcanza el 90% de peso corporal ideal puede ayudar a recuperar la ciclicidad menstrual, porque la **ganancia de peso** es el principal predictor de la restauración de la ciclicidad menstrual y es, por tanto, la primera línea de tratamiento⁷¹⁻⁷³. En cuanto a la terapia farmacológica, no se recomienda de forma sistemática el empleo de anticonceptivos orales (ACO) para la recuperación de la menstruación¹⁷. Además, su uso podría enmascarar las alteraciones menstruales y además no protegerían la pérdida de masa ósea¹⁷. Se podría valorar el inicio de terapia estrogénica transdérmica durante corto espacio de tiempo si persiste la amenorrea pese a la recuperación ponderal, a la modificación en la pauta de ejercicio físico y a la intervención psicológica⁷⁴. Esta terapia transdérmica también ayudará a proteger la DMO. Todas estas medidas terapéuticas explicadas anteriormente se aconseja iniciarlas en el primer año de inicio de la amenorrea²⁴.

En el tratamiento de la **baja masa ósea** es imprescindible normalizar el peso corporal y la ciclicidad menstrual de las deportistas con TCA para aumentarla. Desde un punto de vista práctico, para una mujer con ingestas nutricionales insuficientes, amenorrea y/o baja DMO se recomienda un aporte de calcio de 1.500 mg/día³⁶ asociado al consumo

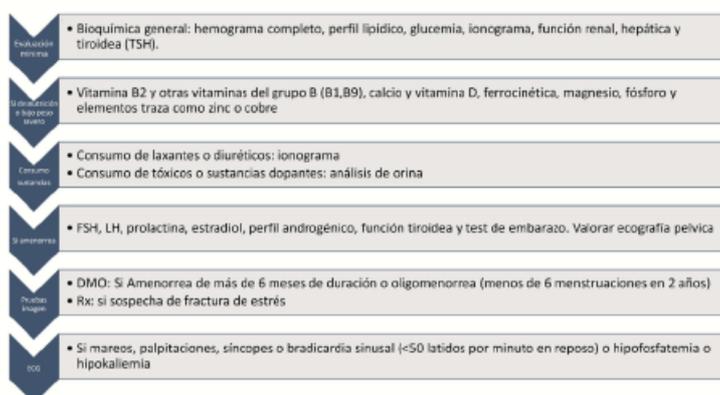


Figura 2 Evaluación analítica y pruebas a realizar en deportista con TCA.

de vitamina D (600 UI/día) para mejorar la salud ósea y la absorción de calcio. En cuanto a la terapia farmacológica, no se recomienda el empleo de bifosfonatos en atletas en edad reproductiva, ya que estos se almacenan en el hueso durante largos periodos de tiempo y pueden ser teratogénicos^{75,76}. Otros fármacos como el raloxifeno, la teriparatida o la calcitonina no están aprobados en las mujeres atletas premenopáusicas. En los varones con osteoporosis tanto los bifosfonatos, el denosumab o el ralendronato de estroncio aumentarán la DMO⁷⁷, si bien el propio tratamiento sustitutivo con testosterona en los pacientes con hipogonadismo mejorará la DMO. Además de estas terapias farmacológicas, se recomendará en aquellos que practiquen disciplinas con bajo impacto osteogénico como la natación o el ciclismo un programa de ejercicios (saltos) que aumenten la carga mecánica en los huesos⁴⁵.

En el mundo deportivo, el empleo de suplementos nutricionales como vitaminas, minerales, productos de herboristería, bebidas energéticas, creatina, hidroximetilbutirato, glutamina, aminoácidos esenciales o ginseng entre otros, está muy extendido porque su consumo se asocia a una mejoría en el rendimiento deportivo⁷⁸. Cuando se detecten **déficits vitamínicos**, se sugiere que esta suplementación se reserve únicamente para atletas jóvenes³⁸ y siempre que se confirme que estos suplementos están validados y exentos de impurezas y sustancias dopantes. Estas sustancias prohibidas las recoge la Agencia Mundial Antidopaje en una lista de sustancias dopantes en la práctica deportiva⁷⁹. En los últimos años, la magnitud del abuso de este tipo de suplementos entre los más jóvenes se ha visto aumentada, siendo necesario llevar a cabo estrictas medidas. Estas deben ser dirigidas de forma interdisciplinar por los diferentes profesionales sanitarios, contribuyendo al desarrollo de programas educativos, preventivos y terapéuticos, que reduzcan la propagación del dopaje y, su diseminación hacia las poblaciones en riesgo, como son los TCA⁸⁰. En este sentido, para reducir estos peligrosos comportamientos, los profesores, entrenadores, médicos, dietistas-nutricionistas, organizaciones deportivas, etc. deben ser conscientes de la existencia de esta problemática entre los más jóvenes, contribuyendo a su solución a través de la puesta en práctica de dichos programas⁸¹.

8. Tratamiento farmacológico de las complicaciones psicológicas/psiquiátricas en el TCA

Solo disponemos de dos psicofármacos autorizados por la Agencia Europea del Medicamento (EMA) y la americana *Food and Drug Administration* (FDA) para el tratamiento directo de los TCA. En el caso de BN se acepta que existe como tratamiento específico el uso de fluoxetina. Este anti-depresivo es eficaz en la disminución de la sintomatología en dosis de 60 mg/día en una o tres tomas, aunque no exista depresión asociada. La lisdexanfetamina está autorizada para el uso en pacientes con trastorno por atracón.

En el caso de la AN no existe tratamiento farmacológico específico, sino solamente el de sus complicaciones psiquiátricas. Se recomienda prescribir fármacos antidepressivos, en dosis habituales, si existe un cuadro depresivo asociado que no mejora con la renutrición. El uso de ansiolíticos es conveniente en los casos de comorbilidad con trastornos de ansiedad. En trastornos obsesivo-compulsivos (TOC) y trastornos con crisis de pánico deben asociarse a los antidepressivos⁴⁰.

9. Otro aspecto para tener en cuenta sería cuándo se debería indicar la **suspensión** de la práctica deportiva y la **reincorporación** a la misma.

Desde el Centro de Entrenamiento Olímpico Noruego y el Comité de Expertos del Comité Olímpico Internacional se han desarrollado unos criterios que se basan en un sistema de colores (rojo/amarillo/verde) que orientan al equipo multidisciplinar que atiende a los atletas en la valoración del riesgo de desarrollo de la práctica deportiva. Así, en los individuos con alto riesgo, representado en color rojo, no deberá estar autorizada su participación deportiva. En esta categoría se encuentran aquellos diagnosticados de AN y otros serios TCA⁸² (por ejemplo, si presenta más de cuatro purgas/día en el caso de la BN¹²) o aquellos individuos con importantes problemas médicos derivados de su baja disponibilidad energética (BDE) o quienes emplean técnicas para facilitar la pérdida de peso (p. ej. diuréticos) que condicionen deshidratación marcada, inestabilidad hemodinámica o un riesgo vital. Los atletas con riesgo moderado

(representados en color amarillo) pueden reincorporarse a la práctica deportiva bajo supervisión médica y con un plan de tratamiento definido. Se incluyen en este grupo aquellos que no tienen un criterio definido de TCA pero presentan algunas características como: pérdida de peso importante (5 a 10% en un mes), alteraciones menstruales, menarquia más allá de los 16 años, disminución de la masa ósea, antecedente de una o más fracturas por estrés asociados a alteración hormonal o menstrual, o alteraciones en las determinaciones analíticas o en el ECG, entre otras.

Además, si una deportista con TCA se niega a recibir el tratamiento indicado por el equipo multidisciplinar o no cumple con todas las indicaciones propuestas tampoco podría volver al entrenamiento²⁴. Esto conlleva que deberá cumplir con el plan dietético diseñado por el dietista, alcanzar los objetivos de ganancia ponderal marcados y, además, que no exista clínicamente ningún riesgo para su salud con el regreso al entrenamiento (síncopes o bradicardia)²⁴.

Los criterios para la reincorporación a la práctica deportiva se basarán en la evaluación de la salud del atleta y los requerimientos de la actividad que practica. El Comité Olímpico Internacional propone para que las deportistas puedan volver a la práctica un sistema basado también en colores según sintomatología clínica⁴⁷. Además, en 2014 se propuso un posicionamiento desde *Female Athlete Trial Coalition Consensus Statement* que puede servir como guía a los clínicos para tomar decisiones sobre la reincorporación a la práctica deportiva¹². La normalidad en la bioimpedancia con rayos X de doble energía (DEXA) puede marcar el regreso a la práctica deportiva a pesar de que la ciclicidad menstrual siga irregular²⁴. Por el momento, no existen unas recomendaciones tan definidas para los deportistas masculinos.

Prevención

Tras lo expuesto anteriormente lo más prioritario sería, por lo tanto, la prevención de estas alteraciones entre los deportistas, lo cual constituye un auténtico reto. Los esfuerzos no solo deberían encaminarse en la prevención primaria de los mismos sino también en evitar las recaídas (prevención secundaria).

El binomio **TCA-deportistas** no debería ser considerado un tema tabú entre los de este grupo. Todas las publicaciones consultadas al respecto insisten en la importancia de ahondar en el concepto de nutrición saludable por parte de los atletas, formarles en los síntomas y signos de estas enfermedades, así como en sus consecuencias y dar unas pautas de actuación ante los primeros síntomas de sospecha sobre su inicio en un compañero de equipo^{18,83}.

Otro aspecto importante para tener en cuenta sería el papel de los entrenadores en estas patologías. Estos deberían tener conocimiento suficiente sobre estas entidades, conocer cuáles son los principales factores de riesgo y precipitantes para su desarrollo⁵³ y sobre su manejo⁸⁴. Realizar una formación específica en estas patologías que les permita identificar los factores psicológicos que desempeñan un papel crucial en el desarrollo de los TCA como parte de su formación curricular podría ser una opción a tener en cuenta.

Establecer programas educativos obligatorios anuales para los atletas, sus entrenadores y preparadores

físicos⁵³ es una medida que se contempla en el contexto deportivo.

Es interesante, por otro lado, desmitificar falsas creencias en relación a cuerpo-peso- desempeño deportivo, como hemos comentado anteriormente, tendiendo a focalizar más la información en hábitos nutricionales correctos, y ofrecer datos contrastados como sugería Thompson, en 1993⁸⁵, más que en centrarse en la explicación detallada de los trastornos cuya aparición se pretende evitar. Resulta también trascendental que la familia reciba una buena información sobre hábitos saludables de alimentación, como medio preventivo de conductas anómalas relacionadas con la alimentación en general, y también con los requisitos mínimos saludables que requiere la disciplina concreta que su familiar práctica.

La *National Collegiate Athletic Association* (NCAA) es una asociación americana constituida por múltiples instituciones y organizaciones que desarrollan la mayoría de los programas deportivos universitarios en EE. UU. Esta asociación ha creado un material específico para los propios atletas y sus entrenadores con el fin de prevenir estas patologías⁸⁶. Además, desde Asociación Nacional de los trastornos de conducta alimentaria americana (NEDA) se han desarrollado varias recomendaciones específicas para los entrenadores⁸⁷.

Conclusión

En resumen, los TCA son una enfermedad con gran impacto sobre el desarrollo de la actividad deportiva tanto por su prevalencia como por el riesgo aumentado de comorbilidades y complicaciones asociadas. El *screening* de TCA y sus consecuencias deberían ser componentes indiscutibles de las evaluaciones precompetición y los médicos de equipo tendrían que estar familiarizados con las actualizaciones de los manuales actuales de diagnóstico (CIE-10, y DSM-V). Los atletas con TCA deberían ser evaluados y atendidos en equipos multidisciplinarios especializados y recibir un tratamiento integral precoz. Desde el inicio, se abordará la conciencia de enfermedad y la capacidad introspectiva del paciente, motivándolo al cambio. El médico responsable del equipo desempeñaría un rol crítico en la toma de decisiones respecto a la conveniencia del regreso a los entrenamientos del paciente y del momento oportuno para ello. Se aboga por una mayor investigación en TCA en general y en particular con deportistas que los padezcan para poder avanzar epidemiológica y etiológicamente en estos trastornos, y mejorar efectivamente la prevención, así como establecer estrategias de tratamiento más específicas en población deportista, incluyendo diferencias de género. El viaje de regreso de un TCA es un camino complicado y lleno de obstáculos. Padres, entrenadores, profesionales sanitarios, gestores deportivos y sociedad en general, debemos proponernos como reto en este siglo XXI la adquisición de un estilo de vida saludable en nuestros niños y adolescentes atletas y centrarnos en transmitir conocimiento en relación con el equilibrio fundamental existente entre la alimentación saludable y el entrenamiento adecuado²¹.

Financiación

La realización de este documento no ha contado con ninguna fuente de financiación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Anexo. Material adicional

Se puede consultar material adicional a este artículo en su versión electrónica disponible en [doi:10.1016/j.endinu.2021.04.004](https://doi.org/10.1016/j.endinu.2021.04.004).

Bibliografía

- Gomez-Candela C, Gomez-Candela C, Palma-Milla S, Miján-de la Torre A, Rodríguez-Ortega P, Matía-Martin P, et al. Consenso sobre la evaluación y el tratamiento nutricional de los trastornos de la conducta alimentaria: anorexia nerviosa, bulimia nerviosa, trastorno por atracón y otros. *Nutr Hosp*. 2018;34:1–97.
- American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical manual of Mental Disorders*. Fifth ed. Washington, DC: American Psychiatric Association; 2013.
- World Health Organization. *International classification of diseases for mortality and morbidity statistics (11th Revision)*. 2018 [consultado Jun 2021]. Disponible en: <https://www.who.int/standards/classifications/classification-of-diseases>
- Smink FR, Van Hoeken D, Hoek HW. Epidemiology of eating disorders: incidence, prevalence, and mortality rates. *Curr Psychiatry Rep*. 2012;14:406–14.
- Pearce JMS. Richard Morton: origins of anorexia nervosa. *Eur Neurol*. 2004;52(4):191–2.
- <http://eatingdisorders.ucsd.edu/resources/docs/AED%20Report.pdf>.
- McCallum K, Bermudez O, Ohlemeyer C, Tyson E, Portilla M, Ferdman B. How should the clinician evaluate and manage the cardiovascular complications of anorexia nervosa? *Eat Disord*. 2006;14:73–80.
- Arcelus J, Mitchell AJ, Wallis J, Nielsen S. Mortality rates in patients with anorexia nervosa and other eating disorders. A meta-analysis of 36 studies. *Arch Gen Psychiatry*. 2011;68:724–31.
- Frank GW. Special issue: medical complications in eating disorders. *Int J Eat Disord*. 2016;49(3), <http://dx.doi.org/10.1002/eat.22507>.
- Sundgot-Borgen J, Torstveit MK. Prevalence of eating disorders in elite athletes is higher than in the general population. *Clin J Sport Med*. 2004;14:25–32.
- Bratland-Sanda S, Jorunn Sundgot-Borgen J. Eating disorders in athletes: overview of prevalence, risk factors and recommendations for prevention and treatment. *Eur J Sport Sci*. 2013;13(5):499–508.
- Thein-Nissenbaum JM, Rauh MJ, Carr KE, Loud KJ, Guine MC. Associations between disordered eating, mental dysfunction and musculoskeletal injury among high school athletes. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2011;41(2):60–9.
- Martinsen M, Sundgot-Borgen J. Higher prevalence of eating disorders among adolescent elite athletes than controls. *Med Sci Sports Exerc*. 2013;45(6):1188–97.
- Hernández-Mulero N, Berengüi R. Identidad deportiva y Trastornos de la Conducta Alimentaria: Estudio preliminar en deportistas de competición Cuadernos de Psicología del Deporte. 2016;16(2):37–44.
- LaneAR, Magallanes CA, Hackney AC. Disfunción reproductiva por entrenamiento físico: el hipogonadismo masculino producto del ejercicio. *Arch Med Deporte*. 2019;36(5):319–22.
- Loucks AB. Exercise training in the normal female: effects of low energy availability on reproductive function. En: Constantini N, Hackney AC, editores. *Endocrinology of Physical Activity and Sport*. Second Ed. New York: Springer Science+Business Media; 2013. p. 185–205.
- Mountjoy M, Sundgot-Borgen JK, Burke LM, Ackerman KE, Blauwet C, Constantini N, et al. IOC consensus statement on relative energy deficiency in sport (RED-S): 2018 update. *Br J Sports Med*. 2018;52:687–97.
- Nattiv A, Loucks AB, Manore MM, Sanborn CF, Sundgot-Borgen J, Warren MP, et al. American College of Sports Medicine position stand The female athlete triad. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39:1867–82.
- Melin A, Tornberg AB, Skouby S, Møller SS, Sundgot-Borgen J, Faber J, et al. Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports*. 2015;25:610–22.
- Markou KB, Mylonas P, Theodoropoulou A, Kontogiannis A, Leglise M, Vagenakis AG, et al. The influence of intensive physical exercise on bone acquisition in adolescent elite female and male artistic gymnasts. *J Clin Endocrinol Metab*. 2004;89:4383–7.
- Ivkovic A, Franic M, Bojanic I, Pécina M. Overuse injuries in female athletes. *Croat Med J*. 2007;48:767–78.
- De Souza MJ, Nattiv A, Joy E, Misra M, Williams NI, Mallinson RJ, et al. 2014 female athlete triad coalition consensus statement on treatment and return to play of the female athlete triad: 1st International Conference held in San Francisco, CA, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, IN May 2013. *Clin J Sport Med*. 2014;24:96–119.
- Black KE, Baker DF, Sims ST. Nutritional needs of the female athlete: risk and prevention of low energy availability. *Strength Cond J*. 2020;42(4):77–8.
- Trattner Sherman R, Thompson RA. Practical use of the International Olympic Committee Medical Commission Pos Stand on the Female Athlete Triad: A case example. *Int J Eat Disord*. 2006;39(3):193–201.
- Daily JP, Stumbo JR. Female Athlete Triad. *Prim Care*. 2018;45(4):615–24.
- Hackney AC. Testosterone the hypothalamo-pituitary-testicular axis and endurance exercise training: a review. *Biol Sport*. 1996;13(2):85–98.
- Hackney AC. The male reproductive system and endurance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28(2):180–9.
- Hackney AC. Effects of endurance exercise on the reproductive system of men: «The exercise-hypogonadal male condition». *J Endocrinol Invest*. 2008;31:932–7.
- Lane AR, Magallanes CA, Hackney AC. Disfunción reproductiva por entrenamiento físico: el «hipogonadismo masculino producto del ejercicio». *Arch Med Deporte*. 2019;36(5):319–22.
- Brant WO, Myers JB, Carrell DT, Smith JF. Male athletic activities and their effects on semen and hormonal parameters. *Phys Sportsmed*. 2010;38(3):114–20.
- Wise LA, Cramer DW, Hornstein MD, Ashby RK, Missmer SA. Physical activity and semen quality among men attending an infertility clinic. *Fertil Steril*. 2011;95(3):1025–30.
- Logue D, Madigan SM, Delahunt E, Heinen M, Mc Donnell SJ, Corish CA. Low energy availability in athletes: a review of prevalence, dietary patterns, physiological health, and sports performance. *Sports Med*. 2018;48:73–96.
- Misra M. Neuroendocrine mechanisms in athletes. *Handb Clin Neurol*. 2014;124:373–86.
- Jasienska G. Energy metabolism and the evolution of reproductive suppression in the human female. *Acta Biotheor*. 2003;51:1–18.
- McClung JP, Gaffney-Stomberg E, Lee JJ. Female athletes: A population at risk of vitamin and mineral deficiencies affecting health and performance. *J Trace Elem Med Biol*. 2014;28:388–92.

36. Rossi KA. Nutritional aspects of the female athlete. *Clin Sports Med.* 2017;36:627-53.
37. El Ghoch M, Soave F, Calugi S, Dalle Grave R. Eating disorders, physical fitness and sport performance: a systematic review. *Nutrients.* 2013;5:5140-60.
38. Gastrich MD, Quick V, Bachmann G, Mc Donald Mortiarthy A. Nutritional Risks Among Female Athletes. *J Womens Health.* 2020;29:693-701.
39. Marquez S. Trastornos alimentarios en el deporte: factores de riesgo, consecuencias sobre la salud, prevención y tratamiento. *Nutr Hosp.* 2008;23(3):183-90.
40. Joy E, Kussman A, Nattiv A. 2016 update on Eating disorders in athletes: a comprehensive narrative review with a focus on clinical assessment and management. *Br J Sports Med.* 2016;50(3):154-62.
41. Dosis J. *Psicología de la actividad física y del deporte.* Madrid: McGraw-Hill; 2004.
42. Kampouri D, Kotopouleas-Nikolaïdi M, Daskou S, Giannopoulou I. Prevalence of disordered eating in elite female athletes in team sports in Greece. *Eur J Sport Sci.* 2019;19(9):1267-75.
43. Forsberg S, Lock J. The relationship between perfectionism, eating disorders and athletes: a review. *Minerva Pediatr.* 2006;58:525-36.
44. Sudi K, Payerl D, Baumgrat P, Tauschmann K, Muller W. Anorexia athletica. *Nutrition.* 2004;20:657-71.
45. Wells KR, Jeacocke NA, Appaneal R, Smith HD, Vlahovich N, Burke LM, et al. The Australian Institute of Sport (AIS) and National Eating Disorders Collaboration (NEDC) position statement on disordered eating in high performance sport. *Br J Sports Med.* 2020;54:1247-58.
46. Keys A, Brozek J, Henschel A, Mickelsen O, Taylor HL. *The biology of human Starvation.* Minneapolis: University of Minnesota Press; 1950. p. 1950.
47. Baum A. Eating disorders in mal athlete. *Sports Med.* 2006;36(1):1-6.
48. Toro J, Galilea B, Martínez-Mallén E, Salamero M, Capdevila L, Mari J, et al. Eating disorders in Spanish female athletes. *Int J Sports Med.* 2005;26:693-700.
49. Brooks-Gunn J, Burrow C, Warner MP. Attitudes towards eating and body weight in different groups of female adolescent athletes. *Int J Eat Disord.* 1988;7:749-578.
50. Alonso J. Trastornos de la conducta alimentaria y deporte. *Trastornos de la Conducta Alimentaria.* 2006;4:368-85.
51. Martinsen M, Holme I, Pensgaard AM, Torsveit MK, Sundgot-Borgen J. The development of the brief eating disorder in athletes questionnaire. *Med Sci Sports Exerc.* 2014;46:1666-75.
52. Dick RW. Eating disorders in NCAA athletic programs. *J Athl Train.* 1991;26:136-40.
53. Bonci CM, Bonci LJ, Granger LR, Johnson CL, Malina RM, Milne LW, et al. National Athletic trainers association position statement: preventing, detecting and managing disordered eating in athletes. *J Athl Train.* 2008;43(1):80-108.
54. American Academy of Pediatrics, American Academy of Family Physicians, American College of Sports Medicine, American Medical Society for Sports Medicine, American Medical Society for Sports Medicine, American Orthopaedic Society for Sports Medicine, American Osteopathic Academy of Sports Medicine, T Preparticipation Physical Evaluation 5th Edition [Paperback]. 2019.
55. Madruga Acerete M, Leis Trabazo R, Lambruschini Ferri N. Trastornos del comportamiento alimentario: anorexia nerviosa y bulimia nerviosa. En: *Protocolos diagnóstico-terapéuticos de Gastroenterología, Hepatología y Nutrición Pediátrica.* SEGHNPAEP. Madrid: ERGON. 2010. p. 325-339.
56. Sherman RT, Thompson RA. Practical use of the International Olympic Committee Medical Commission Position Stand on the Female Athlete Triad: a case example. *Int J Eat Disord.* 2006;39:193-201.
57. Ruiz Prieto I. Elección dietética de familiares de pacientes con trastornos de la conducta alimentaria. *Trastor conducta aliment.* 2011;13:1384-415.
58. Córdoba Caro LG, Luego Pérez LM, Feu S, García Preciado V. Satisfacción con el peso y rasgos del comportamiento del trastorno del comportamiento en secundaria. *An Pediatr (Barc).* 2015;82(5):338-46.
59. González Gallego J, Sánchez Collado P, Matiaix Verdú J. *Nutrición en el deporte Ayudas ergogénicas y dopaje.* Madrid: Díaz de Santos; 2006.
60. Jáuregui-Lobera I, Bolaños- Ríos P. Revisión del tratamiento dietético- nutricional de la anorexia nerviosa. *Rev Med Chile.* 2012;140:98-107.
61. Currie A. Sport eating disorders - understanding and managing the risks. *Asian J Sports Med.* 2010;1(2):63-8.
62. Judith ME, Mary EW, Karen F. Detection Evaluation, and Treatment of Eating- Disorder. *The Roles of the Primary Care Physician.* *J Gen Intern Med.* 2000;15:577-90.
63. American Dietetic Association. Position of the American Dietetic Association: Nutrition intervention in the treatment of anorexia nervosa, bulimia nervosa and other eating disorders. *J Am Diet Assoc.* 2006;106(12):2073-82.
64. Heble Ochoa S, Marquinez Rengifo R, Sánchez Burgos R, Valle Vázquez M. Educación nutricional en el proceso de confección de una dieta en pacientes con trastornos de la conducta alimentaria. *Trastor conducta aliment.* 2014;19:2070-89.
65. <https://www.seen.es/docs/seen/cartera%20ServiciosEyN2016.pdf>.
66. Schons L, Fernandes Nishiyama M. Estudo sobre o comportamento alimentar de nutricionistas de Foz do Iguaçu (PR) e região com enfoque em transtornos alimentares. *Secnutri.* 2010. Disponible en: <https://pleiade.uniameica.br/index.php/secnutri/article/view/112>
67. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. American College of Sports Medicine Joint Position Statement. *Nutrition and Athletic Performance.* *Med Sci Sports Exerc.* 2016;48:543-68.
68. <https://iscd.org/learn/official-positions/adult-positions/>.
69. Loucks AB, Thuma JR. Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *J Clin Endocrinol Metab.* 2003;88:297-311.
70. Loucks AB, Verdun M, Heath EM. Low energy availability, not stress of exercise, alters LH pulsatility in exercising women. *J Appl Physiol.* 1998;84(1985):37-46.
71. Fredericson M, Kent K. Normalization of bone density in a previously amenorrheic runner with osteoporosis. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37:1481-6.
72. Arends JC, Cheung MY, Barrack MT, Nattiv A. Restoration of menses with nonpharmacologic therapy in college athletes with menstrual disturbances: a 5-year retrospective study. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2012;22:98-108.
73. Kimmel MC, Ferguson EH, Zerwas S, Bulik CM, Meltzer-Brody S. Obstetric and Gynecologic Problems Associated with Eating Disorders. *Int J Eat Disord.* 2016;49(3):260-75.
74. Gordon CM, Ackerman KE, Berga SL, Kaplan JR, Mastorakos G, Misra M, et al. Functional hypotalamic amenorrhea: an endocrine society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab.* 2017;102:1413-39.
75. Marini JC. Do bisphosphonates make children's bones better or brittle? *N Engl J Med.* 2003;349:423-6.
76. Papapoulos SE, Cremers SC. Prolonged bisphosphonate release after treatment in children. *N Engl J Med.* 2007;356:1075-6.
77. Ebeling PR. Osteoporosis in men. *Curr Opin Rheumatol.* 2013;25:542-52.
78. Heikkinen A, Alaranta A, Helenius I, Vasankari T. Use of dietary supplements in Olympic athletes is decreasing: A follow-up study between 2002 and 2009. *J Int Soc Sports Nutr.* 2011;8:1.

79. World AntiDoping Agency. WADA publishes 2017 prohibited list. 2016 [consultado Jun 2021]. Disponible en: www.wada-ama.org/en/media/news/2016-09/wada.publishes-2017-prohibited-list, 2016.
80. Clancy GP, Yates WR. Anabolic steroid use among substance abusers in treatment. *J Clin Psychiatry*. 1992;53:97–101.
81. Mayo Clinic On-Line. Teen athletes and performance enhancing substances: what parents can do. [consultado Jun 2021]. Disponible en: www.mayoclinic.com.
82. Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, Carter S, Constantini N, Lebrun C, et al. The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *Br J Sports Med*. 2014;48:491–7.
83. De Oliveira Coelho GM, Da Silva Gomes AI, Gonçalves Ribeiro B, De Abreu Soares E. Prevention of eating disorders in female athletes. *Open Access J Sports Med*. 2014;5:105–13.
84. Martinsen M, Sherman RT, Thompson RA, Sungot-Borgen J. Coaches' knowledge and management of eating disorders: a randomized controlled trial. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47:1070–8.
85. Thompson RA, Sherman RT. *Helping athletes with eating disorders*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1993.
86. NCAA. Disordered Eating. [Consultada 17 Mar 2021]. Disponible en: <https://www.ncaa.org/sport-science-institute/disordered-eating>.
87. Katrina K. *Tips for Coaches: Preventing Eating Disorders in Athletes*. National Eating Disorders Association. 2006 [Consultada 17 Mar 2021]. Disponible en <https://www.nationaleatingdisorders.org/learn/help/coaches-trainers/tips>.

7.10. APÉNDICE 10. ACERCA DEL AUTOR. *CURRICULUM VITAE*.

JOSE BURGOS BALMASEDA

Domicilio: Calle Río Somero, Nº2, 2ºD, 26007, Logroño

Teléfono móvil: 630 69 39 54

Fecha de nacimiento: 14/04/1988

Email: joseburgos88@hotmail.com



FORMACIÓN ACADÉMICA

2018-Actualmente: **Doctorando en Salud, Discapacidad y Bienestar.** Universidad de León.

2017-2018: **Master Oficial en Nutrición y Salud.** Universitat Oberta de Catalunya.

2016-2017: **Máster Internacional en Nutrición Deportiva y Clínica.** Universidad Isabel I de Castilla.

2015-2016: **Máster Internacional en Entrenamiento Personal, Prevención y Readaptación Físico-Deportiva.** Universidad Isabel I de Castilla.

2013-2017: **Grado en Nutrición Humana y Dietética.** Universidad Isabel I de Castilla.

PERFECCIONAMIENTO PROFESIONAL

2021: Antropometrista **ISAK nivel 3**, Madrid.

2021: Curso de **Análisis e Interpretación de Datos en Antropometría**, ISSN.

2020: Antropometrista **ISAK nivel 2**, Barcelona.

2020: Antropometrista **ISAK nivel 1**, Madrid.

2016: Especialista en **Entrenamiento Funcional**, TheraBand Academy.

2016: Diploma de **Entrenador Personal en el Medio Acuático** (3 ECTS), Universidad Isabel I de Castilla.

2015: Diploma en **Evaluación Integral del Deportista** (6 ECTS), Universidad Isabel I de Castilla.

2015: Curso de **Nutrición como Prevención y Tratamiento de Enfermedades**(6 ECTS), UNED.

2015: Curso de **Nutrición y Dietética: Planificación alimentaria** (6 ECTS). UNED.

2015: Curso de **Alimentación Saludable Después de una Vida de Alta Competición**, Programa de Formación y Actualización Deportiva 2015 de la Dirección General de Deportes de la Junta de Castilla y León.

2015: Curso de **Formador de Formadores en Actividad Física y Deporte**, Programa de Formación y Actualización Deportiva 2015 de la Dirección General de Deportes de la Junta de Castilla y León.

2015: Curso de **Nuevas Tendencias en el Entrenamiento de Rendimiento en Fútbol**, Universidad Isabel I de Castilla.

2014: Curso Superior en **Alimentación y Nutrición en la Infancia: Claves para la práctica profesional diaria** (9ECTS), Universidad de Barcelona.

CONFERENCIAS Y SEMINARIOS

- 2021: I Simposio Internacional de Suplementos Nutricionales para el Deporte y la Salud.
2017: Estrategias Nutricionales Para la Mejora de la Composición Muscular.
2016: Taller Programación y Confección Entrenamientos de Hipertrofia.
2016: Entrenamiento para la Estética. Reducción de Grasa.
2016: Costo Energético durante Sesiones de Entrenamiento de la Fuerza.
2016: Jornada de Deporte y Salud.
2015: Estrategias avanzadas de entrenamiento y nutrición para la reducción de grasa: hombre vs mujer.
2015: Nutrición Aplicada a los Deportes de Combate.
2015: Principios Básicos del Entrenamiento para el Nutricionista Deportivo.
20212: Qué dice la Ciencia Hoy Sobre la Ingesta de Proteínas en la Dieta: Últimas Revisiones Científicas.
2015: Sistemas Energéticos: Vía Glucolítica o “Anaeróbica” y Oxidativa o “Aeróbica”.
2015: Zonas de Entrenamiento. ¿A qué Intensidad se Debe Entrenar y Por Qué?
2015: Planificación Nutricional Para Corredores de 10k y 21k.
2015: Dieta Paleolítica y Ejercicio Físico, ¿Moda o Realidad?
2015: Inflamación, Nutrición y Ejercicio Físico.
2014: Estrategias Dietético-Nutricionales para Afrontar Diversos Eventos de Triatlón
2014: Factores Limitantes del Rendimiento y Estrategias Dietético-Deportivas para la Recuperación Efectiva del Triatleta.
2013: Seminario de Antropometría, Cineantropometría y Composición Corporal
-

PROFESOR INVITADO

1. Asignatura: ISAK Nivel 1
Curso académico: 2021-2022
Duración: 24 horas
Centro: CEP Consultoría y Formación
2. Asignatura: ISAK Nivel 2
Curso académico: 2020-2021
Duración: 36 horas
Centro: H Bikain Entrenamiento y salud
3. Asignatura: ISAK Nivel 1
Curso académico: 2020-2021
Duración: 24 horas
Centro: H Bikain Entrenamiento y salud
- 4 Asignatura: Tutor de “Trabajo Fin de Master”
Curso académico: 2019-2020
Duración: 150 horas
Centro: Universidad Europea de Madrid. Máster Universitario en Entrenamiento y Nutrición Deportiva

PUBLICACIONES EN REVISTAS CIENTÍFICAS

1. Viribay A, **Burgos J**, Fernández-Landa J, Seco-Calvo J, Mielgo-Ayuso J.
Effects of Arginine Supplementation on Athletic Performance Based on Energy Metabolism: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*. 2020. May 2; 12(5).pii: E1300. doi: 10.3390/nu12051300.
Factor de Impacto: 5,719 (2020)
Posición área de Nutrición y dietética: 17/88 (Q1)
2. Marí-Sanchis A, **Burgos J**, Hidalgo-Borrajo R J.
Trastornos de conducta alimentaria en la práctica deportiva. Actualización y propuesta de abordaje integral. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*. 2021. Jun 18. doi: 10.1016/j.endinu.2021.04.004
Factor de Impacto: 1,417 (2021)
Posición área de Nutrición y dietética: 76/89 (Q4)
3. **José Burgos**, Aitor Viribay, Diego Fernández-Lázaro, Julio Calleja-González, Josefa González-Santos and Juan Francisco Mielgo-Ayuso.
Combined Effects of Citrulline Plus Nitrate-Rich Beetroot Extract Co-Supplementation on Maximal and Endurance-Strength and Aerobic Power in Trained Male Triathletes: A Randomized Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Nutrients*. 2022 Dec, 14(1). pii: E40. doi: 10.3390/nu14010040
Factor de impacto: 5.719 (2022)
Posición área de Nutrición y Dietética: 17/88 (Q1)
4. **José Burgos**, Aitor Viribay, Julio Calleja-González, Diego Fernández-Lázaro, Jurgi Olasagasti-Ibargoiien, Jesús Seco-Calvo and Juan Francisco Mielgo-Ayuso.
Long-Term Combined Effects of Citrulline and Nitrate-Rich Beetroot Extract Supplementation on Recovery Status in Trained Male Triathletes: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial [3] (Ver Apéndice 6)
Factor de impacto: 5.079 (2022)
Posición área de biología: 16/93 (Q1)

EXPERIENCIA LABORAL

Trabajos realizados:

2017-Aktualmente: **Dietista-Nutricionista**, Burgos Nutrition, Logroño.

- Mediciones de composición corporal
- Análisis nutricionales y diseño de la dieta adecuada para deportistas de élite
- Formación nutricional

Prácticas:

2016 (300 horas): **Dietista-Nutricionista**, Hospital San Pedro, Logroño.

- Mediciones de composición corporal

- Análisis nutricional a pacientes hospitalizados

2015 (300 horas): **Dietista-Nutricionista**, Tecniestetica, Córdoba.

- Pérdida de peso
- Nutrición deportiva
- Charlas divulgativas
- Referencias

2014 (300 horas): **Dietista-Nutricionista**, Farmacia Bonillo, Alicante.

- Recomendación dietética
 - Referencias
-

IDIOMAS

Inglés: Nivel B2



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOMÉDICAS
DOCTORADO EN SALUD, DISCAPACIDAD, DEPENDENCIA Y BIENESTAR

EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN CON ARGININA, CITRULINA Y NITRATO EN EL RENDIMIENTO DEL TRIATLÓN

Tesis Doctoral

Jose Burgos Balmaseda

Tutor: Dr. Jesús Ángel Seco

Director: Dr. Juan Francisco Mielgo-Ayuso

León, 2022